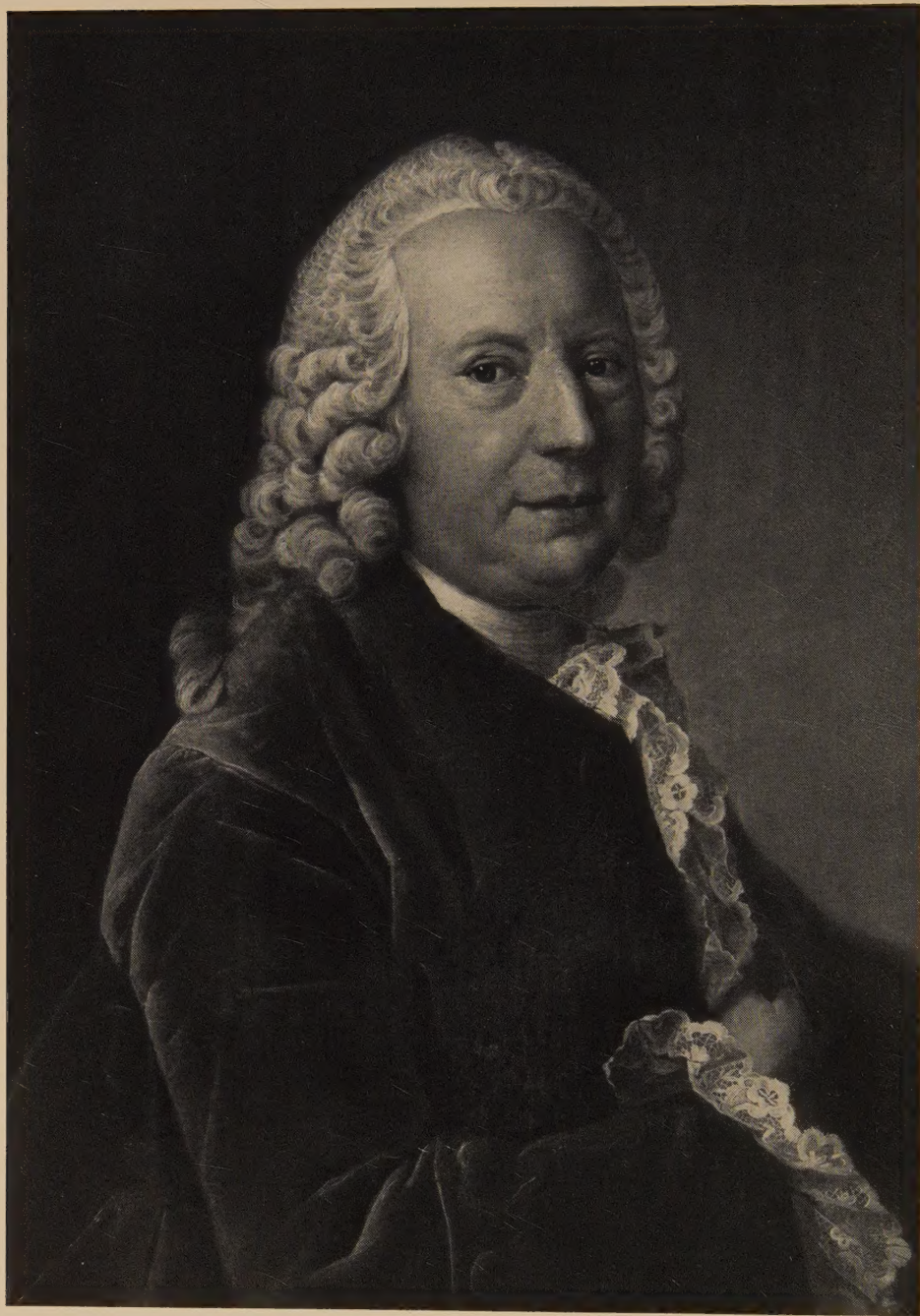


Daniel Bernoulli
(1700–1782)
als Physiologe und Statistiker

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät
der Universität Basel

vorgelegt von
FRIEDRICH HUBER
aus Basel

Basel 1958
Benno Schwabe & Co.



Daniel Bernoulli (1700–1782)

(Bild in der Aula des Museums für Natur- und Völkerkunde Basel)

Daniel Bernoulli
(1700–1782)
als Physiologe und Statistiker

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät
der Universität Basel

vorgelegt von
FRIEDRICH HUBER
aus Basel



Basel 1958
Benno Schwabe & Co.

Von der Medizinischen Fakultät Basel genehmigt
auf Antrag von Prof. Dr. med. H. Buess
Tag der Promotion: 5. Juli 1956

Diese Arbeit erscheint gleichzeitig als Heft VIII der «Basler Veröffentlichungen zur Geschichte der Medizin und der Biologie», herausgegeben von Prof. Dr. med. H. Buess
im Verlag Benno Schwabe & Co · Basel/Stuttgart

INHALT

Vorwort	5
<i>I. Biographischer Teil</i>	7
1. Die Familie Bernoulli	9
2. Die Leistungen von Onkel und Vater	10
3. Der Lebensweg Daniels	12
4. Daniels wissenschaftliche Leistungen	16
<i>II. Daniel Bernoulli als Physiologe</i>	
1. Einleitung	19
a) Zur Entwicklung der Naturwissenschaften und der Physiologie im 17. und 18. Jahrhundert	19
b) Basel und seine Universität im 18. Jahrhundert	22
2. Daniel Bernoulli als Professor der Anatomie und Botanik	24
3. Daniel Bernoullis Inauguraldissertation über die Atmung	29
Die ersten Versuche der Volumometrie der eingeatmeten Luftmenge	37
4. Versuch einer neuen Theorie der Muskelbewegung	39
5. Ein Versuch am Sehnerv	46
6. Der Einfluß von Daniel Bernoullis «Hydrodynamik» auf die Fortschritte der Hämodynamik im 18. Jahrhundert	49
7. Die Berechnung der Herzarbeit durch Daniel Bernoulli	56
8. Daniel Bernoullis Beiträge zur Arbeitsphysiologie	61
<i>III. Daniel Bernoulli als Statistiker und Epidemiologe</i>	
1. Kurzer Überblick über die Frühgeschichte der Statistik	68
2. Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole et des avantages de l'Inoculation pour la prévenir	72

A. Die Pockenkrankheit und ihre Bekämpfung durch die Inokulation	72
Die Inokulation in Basel	76
B. Inhalt und Bedeutung von Daniel Bernoullis Schrift: «Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole etc.» . .	77
a) Absichten, allgemeine Statistik der Pockenmortalität	78
b) Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung; Pockenepidemie in Basel	84
c) Kritische Würdigung der Bernoullischen Methode	87
3. De Duratione media matrimoniorum	93
IV. Zusammenfassung	98
Literaturverzeichnis	101

VORWORT

«Das Wunder ist das Gesetz und das Gesetz vollzieht sich in mechanischer Art auf dem Wege der Causalität und der Notwendigkeit».

R. Virchow

Im Jahre 1960 wird die Universität Basel ihren 500. Geburtstag feiern dürfen. Zu diesem Anlaß möchte auch die vorliegende Reihe von Veröffentlichungen ihren kleinen Beitrag überreichen. Sie tut es in Form einer medizinhistorischen Untersuchung über einen der größten Söhne Basels, nämlich den bisher fast ausschließlich als Physiker und Mathematiker bekannten Daniel Bernoulli. Die Nachforschungen des Verfassers haben ergeben, daß sich bei ihm über seine Sicht der Biophysik hinaus, die wenigstens in ihren Grundzügen geläufig war, verheißungsvolle Ansätze der medizinischen Statistik und der Arbeitsphysiologie finden, die bisher nur ungenügend bzw. gar nicht studiert worden sind.

Kaum ein Wort der streng naturwissenschaftlich begründeten Medizin scheint mir die geistige Situation unseres großen Forschers Bernoulli so gut zu umreißen wie der eingangs zitierte Satz¹ Virchows, der die im 18. Jahrhundert allseitig gefestigte Mechanistik in der Medizin einem ersten Höhepunkt zugeführt hat. Es ist bei Daniel die Haltung des frommen Christen dem Wunder der vielfältigen, teilweise von ihm selber entdeckten Gesetze der Natur gegenüber, von der er nirgends ausdrücklich spricht, die man aber seiner ganzen Wesensart entnehmen kann. In ihr weiß er sich einig mit den größten seiner Zeitgenossen, unter denen man nicht einmal Lamettrie (*«L'homme machine»*, 1748) auszunehmen braucht. Es ist aber auch das Verantwortungsbewußtsein der Öffentlichkeit gegenüber, der *«praktisch humanistische Sinn»*, wie ihn Karl Joël genannt hat, der die denkerische Arbeit Bernoullis gelenkt hat und der für die Zeit der Aufklärung gerade in den Berechnungen über die Pockensterblichkeit ohne und mit Inokulation selten schön zum Ausdruck kommt.

Gegenüber allfälligen Erwartungen muß bei der vorliegenden Abhandlung betont werden, daß sie in erster Linie für den historisch interessierten Arzt geschrieben ist. Wenn sie darüber hinaus auch dem Laien, insbesondere den heutigen Bewohnern von Bernoullis Vaterstadt, das Verständnis für die Geschichte der Biologie und Medizin vertieft, so ist der Erfolg der sorgfältigen Analysen und der klaren Darstellung um so erfreulicher.

¹ Aus *«Vier Reden über Leben und Kranksein»*, Berlin 1862.

Ich möchte der Studie vor allem auch als Frucht einer Gemeinschaftsarbeit zwischen dem Mediziner und dem Mathematiker, insbesondere EDUARD BATSCHELET, dann OTTO SPIESS und HANS STRAUB, meine besten Wünsche auf den Weg geben.

Basel, im März 1958

HEINRICH BUESS

I. BIOGRAPHISCHER TEIL

Es ist im Frühherbst des Jahres 1733. Auf einer Landstraße in der Nähe von Paris holpert eine Postkutsche dem nächsten Dorf in östlicher Richtung entgegen. Ihre drei Insassen haben eben eine Pause eingeschaltet in das hochwissenschaftliche Gespräch, in das sie vertieft waren. Nun merken die drei Männer, daß sie einander ja noch gar nicht kennen. Der eine der beiden jüngeren Herren stellt sich seinem Gegenüber, einem lebhaften Franzosen vor: Daniel Bernoulli. Überrascht und verblüfft stutzt dieser einen Moment, doch hat er sich rasch gefaßt, und im nächsten Augenblick schon blitzt der Schalk in seinen Augen auf: Mein Name ist Newton. Befriedigt lächelnd lehnt er sich wieder in die Polster zurück; er hat gut pariert und ist nicht auf den Scherz hereingefallen.

Doch der biedere Herr Trant, seines Zeichens Botaniker, hat sich getäuscht, wie er bald beschämt einsehen muß. Vor ihm sitzt wirklich der berühmte Mathematiker und Physiker Daniel Bernoulli. Doch diesen freut das indirekte Kompliment, diese Hochachtung vor dem Namen Bernoulli, und sein Leben lang hat er sich mit Vergnügen an die Episode erinnert. Überdies ist er in diesen Tagen ganz besonders guter Laune. Er ist auf der Heimreise nach seiner Vaterstadt Basel begriffen. Endlich hat er sich von Petersburg mit seinem rauen Klima lösen können. Seine Gesundheit war dort ziemlich erschüttert worden, davon zeugen noch der leidende Ausdruck in seinen weichen, beinahe etwas femininen Gesichtszügen und die Blässe, die auf der hohen Stirne liegt. Keine Ehrenbezeugungen und Gehaltserhöhungen haben ihn mehr zurückzuhalten vermocht. Am Johannistage des Jahres 1733 ist er von Petersburg abgereist. Und jetzt hat ihn vor ein paar Tagen zu seiner Freude die Kunde erreicht, daß das Los in Basel ihm günstig gesinnt gewesen war und ihn am 19. September zum Professor für Anatomie und Botanik erkoren hatte. Um diese Stelle hatte er sich noch von Petersburg aus beworben.

Professor für Anatomie und Botanik? Wie kam der berühmte Physiker, der eben vor seiner Abreise der Akademie von Petersburg das ausgearbeitete Manuskript seiner «Hydrodynamik» unterbreitet hatte, zu einem solchen Amte? War er dazu überhaupt vorgebildet? Ein kurzer Abriß seines bisherigen Lebens mag uns darüber Auskunft geben.

Stammtafel der Familie Bernoulli in den ersten zwei Jahrhunderten ihrer Ansässigkeit in Basel

Niklaus Bernoulli

(1623–1708)

Mitglied des Großen Rats und
des Gerichts

<i>Jakob</i> (1655–1705) Professor de Mathematik in Basel	<i>Niklaus</i> (1622–1716) Maler und Ratsmitglied	<i>Johann I.</i> (1667–1748) Dr. med., Professor der Mathematik in Groningen und Basel	<i>Hieronymus</i> (1669–1760) Apotheker
	<i>Niklaus</i> (1687–1759) Professor der Mathematik in Padua, der Logik und schließlich des Rechts in Basel		<i>Niklaus</i> (1704–1786)
<i>Niklaus</i> (1695–1726) Professor der Rechte in Bern und dann der Mathematik in Petersburg	<i>Daniel</i> (1700–1782) Professor der Mathematik in Petersburg, der Anatomie und Botanik und später der Physik in Basel	<i>Johann II.</i> (1710–1790) Professor der Eloquenz und dann der Mathematik in Basel	<i>Hieronymus</i> (1748–1829) Apotheker und Stadtratspräsident
<i>Johann III.</i> (1744–1807)	<i>Daniel</i> (1751–1834) Dr. med., Professor der Eloquenz, dann Domprobsteischaffner	<i>Jakob</i> (1759–1789) Akademiker in Petersburg	

1. Die Familie Bernoulli

Die Bernoullis waren ursprünglich in Antwerpen beheimatet gewesen. Einer ihrer Vorfahren, ein Jakob Bernoulli (gest. 1583), gehörte dort den «Niederländischen Gemeinden augsburgischer Konfession» an. In schwerster Bedrängnis in der Zeit der Protestantenverfolgungen, die unter Herzog Alba ihren Höhepunkt erreichten, entschloß sich dieser wie viele seiner Glaubensbrüder zur Auswanderung. Er ließ sich mit seiner Familie in Frankfurt nieder. Dort gelangte dieser Ahnherr der Bernoulli als Führer der Flüchtlinge zu hohem Ansehen. Der Großhandel mit Spezereien und ostindischen Kolonialwaren verhalf ihm zu bedeutendem Reichtum.

Einer seiner Großsöhne, wieder ein Jakob (1598–1634), siedelte nach Basel über und wurde daselbst am 13. Mai 1622 ins Bürgerrecht aufgenommen. Er war hier der erste Refugiant, der mit Spezereien handeln durfte. Sein Sohn Niklaus (1623–1708), der bereits im Basler Großen Rate Einsitz genommen hatte, war nun der Stammvater der Mathematiker. Die beigegefügte Stammtafel mag uns am besten zeigen, durch welche verwandtschaftlichen Bande alle die weltberühmten Vertreter der Familie miteinander verbunden waren, und sie mag uns auch mit einigen weniger berühmten Namen bekannt machen. Die beiden Söhne von Niklaus, Jakob und Johann, Daniels Onkel und Vater, sind es, die den Ruhm der Mathematikerfamilie begründet und auch schon zu höchstem Glanze gebracht haben.

Daniels Onkel, Jakob Bernoulli, wurde am 27. Dezember 1654 geboren. Dem Wunsche seines Vaters gemäß studierte er Theologie. Doch seine früherwachte Neigung zu den mathematischen Wissenschaften, der er im Geheimen immer nachhing, bestimmte ihn nach dem Abschluß seiner theologischen Studien, eine ihm angebotene Predigerstelle abzulehnen und sich ganz seinem Lieblingsfach zu widmen. Er hielt an der Basler Universität Vorlesungen über Experimentalphysik, was bis jetzt noch nie vorgekommen war, und war daneben als mathematischer Lehrer tätig. 1687 wurde er in seiner Vaterstadt zum Professor für Mathematik gewählt. Dieses Amt bekleidete er bis zu seinem Tode im Jahre 1705.

Jakobs begabtester Schüler war sein um 12 Jahre jüngerer Bruder Johann. Dieser legte außerordentlichen Eifer an den Tag und verfügte über eine schnelle Auffassungsgabe. Auf Anraten seines Bruders ergriff er das Studium der Medizin, daneben aber vervollkommnete er unablässig seine mathematischen Kenntnisse. 1694 erhielt er den Grad eines Doktors der Medizin. Schon stand er aber mit Leibniz in regem Briefwechsel, und schon hatte er in Zusammenarbeit mit seinem Bruder bedeutende Beiträge zur Entwicklung der Differentialrechnung geleistet und auf einer Reise nach Frankreich bedeutende Mathematiker dieses Landes in die neue Rechnungsart eingeführt. Im Jahre

1695 wurde er denn auch durch die Vermittlung von Christian Huygens (1629 bis 1695) zum Professor der Mathematik in Groningen ernannt. Dort las er nebenbei mit Erfolg Experimentalphysik. In die Zeit seines Groninger Aufenthaltes fällt sein unschöner Streit mit seinem Bruder und Lehrer Jakob über die Brachystochrone und das isoperimetrische Problem. Johanns eitler, unherrscher und selbstsüchtiger Charakter verletzte den empfindlichen Jakob tief und trieb ihn dazu, sich von allen Menschen immer mehr abzuschließen.

Durch Drängen seines Schwiegervaters, des Deputaten Falkner, ließ sich Johann dazu bestimmen, wieder eine Rückkehr nach Basel ins Auge zu fassen. Er bewarb sich vorerst um die verwaiste Professur der griechischen Sprache und wurde auch im Jahre 1703 auf diesen Sitz gewählt. Er schied aber erst 1705 von Groningen. In Basel angekommen, erhielt er den Besuch des gesamten akademischen Senates. Dieser trug ihm den durch den Tod seines Bruders vakant gewordenen Lehrstuhl für Mathematik unter besonders günstigen finanziellen Bedingungen an. Hinfort blieb Johann trotz den verlockendsten Rufen aus aller Welt seiner Vaterstadt treu. Seine Vorlesungen wurden nicht nur von den Studenten, sondern auch von einer größeren Zahl bedeutender ausländischer Mathematiker besucht. Er war Mitglied der bedeutendsten Akademien der Wissenschaften. Man ehrte und feierte ihn als den ersten Mathematiker seiner Zeit. Er war Haupt einer ganzen Schule von Mathematikern. Kein geringerer als Voltaire hat von ihm folgenden schmeichelhaften Vierzeiler gedichtet:

Son esprit vit la vérité
Et son cœur connut la justice.
Il a fait l'honneur de la Suisse
Et celui de l'humanité.

Seine Lebhaftigkeit und seine Rüstigkeit behielt er bis in sein hohes Alter. Am 1. Januar 1748 starb er im Alter von 80 Jahren und 5 Monaten.

2. Die Leistungen von Onkel und Vater

Wir halten uns nicht für befugt, als Nichtmathematiker auch nur annähernd das Werk der beiden älteren Bernoulli zu würdigen. Ihr größtes Verdienst haben sie sich wohl um die Einführung der Differentialrechnung erworben.

Im Oktoberheft 1684 der «Acta eruditorum» hatte Leibniz in einem kurzen Aufsatz die ersten dunkeln Andeutungen über eine neue Rechenart, eben die Differentialrechnung, veröffentlicht. Die beiden Brüder Bernoulli wurden darauf aufmerksam. Leibniz konnte ihnen keine Auskunft auf ihre Anfrage geben, da er landesabwesend war. Sie hatten sofort die Tragweite der in dem erwähn-

ten Aufsätze allerdings nur andeutungsweise und schwer verständlich skizzierten Rechenmethode erkannt. In gemeinsamen sorgfältigen Untersuchungen gelangten sie selbständig zum vollen Verständnis der Methode und bauten sie dann in genialer Weise weiter aus. Der Name «Integral» wurde von Jakob geprägt. Die mathematische Definition des Integralbegriffes gab sein Bruder Johann. Die beiden Brüder wandten die neue Rechenkunst auf die verschiedensten Zweige der Wissenschaft an und bewiesen deutlich ihre Überlegenheit gegenüber den alten Methoden. Johann gab das erste Lehrbuch der Differentialrechnung heraus. Übrigens war auch er es, der nach dem Tode von Leibniz den berühmten Prioritätsstreit um die Erfindung der Differentialrechnung gegen die Schule von Newton bis zum siegreichen Ende durchfocht. Zeitlebens ist ihm davon eine Abneigung gegen die Engländer geblieben.

Neben dieser Hauptleistung der beiden Brüder sei ein Teil ihrer weiteren Arbeiten nur noch stichwortartig angegeben. Jakob schuf die neue Disziplin der Variationsrechnung. Seine postum durch seinen Neffen Niklaus I. herausgegebene Schrift «Ars conjectandi» stellt die erste Monographie über die Wahrscheinlichkeitsrechnung dar.

Unzählig sind die Probleme der praktischen und theoretischen Mechanik, die Johann bearbeitete. Er ist der Begründer der wissenschaftlich fundierten «äußeren Ballistik». Daneben löste er viele Preisfragen, die mit der Schifffahrt zusammenhingen. In seinen Schriften steht zum erstenmal das Wort «Energie» als Begriff der Mechanik genau in dem Sinne, in dem es anderthalb Jahrhunderte später durch Hermann von Helmholtz (1821–1894) definitiv in die Wissenschaft eingeführt wurde. Er entwickelte auch das Prinzip der «Conservatio virium vivarum», also das Gesetz von der Erhaltung der Energie im Bereiche der Mechanik.

Drei Schriften verfaßte Johann Bernoulli als Mediziner. Sie gehören unbestreitbar zu den bedeutendsten, die die Schule der Iatrophysik hervorgebracht hat. Im Vordergrund steht seine Inauguraldissertation: «De motu musculorum» (1694). In ihr entwickelt Johann eine originelle Theorie der Muskelkontraktion, auf die wir später in anderm Zusammenhange noch ausführlicher zu sprechen kommen werden. In der eben erwähnten Arbeit stützt er sich stark auf seine vier Jahre vorher erschienene Schrift «De effervescentia et fermentatione», in der er die im Organismus zur Wirkung kommenden Kräfte auf rein physikalisch erklärbare Fermentationsvorgänge zurückführt. Eine dritte Studie «De nutritione» (Groningen 1699) befaßt sich mit den Substanzverlusten des Organismus durch die «Perspiratio insensibilis» und ihrem Ersatz durch die Nahrung.

3. Der Lebensweg Daniels

Als zweiter Sohn wurde Daniel am 29. Januar 1700 seinen Eltern in Groningen geboren. 1705 kehrte sein Vater mit seiner Familie nach Basel zurück, und Daniel verlebte hier seine weitere Jugendzeit. Er besuchte die Basler Schulen bis zum Abschluß des Gymnasiums. Anschließend weilte er zur Erlernung der französischen Sprache ein Jahr im Pfarrhaus von Courtelary (Bern), und um seine Allgemeinbildung zu vervollständigen, durchlief er an der Universität den Studiengang bis zum «Magister Artium»¹. Nebenbei wurde er schon als Knabe vom Vater und von seinem Bruder Niklaus in Mathematik unterrichtet. Bald zeigte sich, daß er ein gut Stück Bernoullischer Begabung für dieses Fach geerbt hatte. Doch jetzt, nach Abschluß der erweiterten Schulbildung, wollte der Vater einen Kaufmann aus ihm machen. Er sollte nicht die brotlose Kunst seines Vaters treiben, sondern womöglich seinen Vorfahren nachfolgen, von denen wir wissen, daß sie steinreiche Spezierer waren. Der junge Magister war davon gar nicht begeistert. Er hätte sich jetzt am liebsten ausschließlich dem Studium seines Lieblingsfaches, der Mathematik, gewidmet. Zwei Versuche, ihn als kaufmännischen Lehrling unterzubringen, schlugen fehl. Endlich hatte der Vater ein Einsehen und gab seine Einwilligung zwar nicht zum Studium der Mathematik, aber doch zu demjenigen der Medizin. Daniel begann seine medizinischen Studien in Basel und setzte sie dann in Straßburg und Heidelberg fort. Daneben widmete er viele freie Stunden der Mathematik. Zum Abschluß seines Studiums kehrte er nach Basel zurück und hier legte er im Jahr 1721 seine medizinischen Examina ab. Seine Inauguraldissertation mit dem Titel «De Respiratione» ist eine originelle Zusammenfassung der Atemphysiologie. Die Promotion wurde sonderbarerweise nicht sogleich vollzogen, sondern aus unbekannten Gründen vorläufig verschoben.

Im gleichen Jahre schon bewarb sich der junge Mediziner um die vakante Professur für Anatomie und Botanik. Allfällige Einwände wegen seiner Jugend wies er selbstbewußt zurück. Er war davon überzeugt, daß er mit seinen Physik- und Mathematikkenntnissen diese Stelle besser versehen könne als viele seiner älteren Mitbewerber, die diese Kenntnisse nicht besaßen. Für ihn war eben die Physik ein entscheidender Faktor auch bei der Behandlung anatomischer und physiologischer Fragen. Das Los war ihm aber bei der Wahl nicht günstig. Mit einer zweiten Bewerbung im Jahre 1722 um die Professur der Logik hatte er ebensowenig Glück.

Da ihm in der Vaterstadt der Weg zum Vorwärtkommen vorläufig versperrt war, so entschloß er sich 1723 zu einer Reise nach Venedig, das sein

¹ Magister artium: Dies war ein Titel, den man sich nach Abschluß der propädeutischen Studien an der philosophischen Fakultät erwarb. Die damit abgeschlossene Ausbildungszeit an der «Artistenfakultät» entsprach am ehesten derjenigen im heutigen obern Gymnasium.

Bruder Niklaus unlängst verlassen hatte. Unter der Leitung des Arztes und Physiologen Pietro Antonio Michelotti (ca. 1670–1740) bildete er sich dort in der praktischen Medizin weiter aus. Der aufgeweckte und gescheite Basler erwarb sich die Zuneigung seines Lehrers in so hohem Maße, daß er ihn nicht nur in die Hospitäler, sondern auch auf die Privatkrankenbesuche begleiten durfte. Sein großer Wunsch, auch einige Monate bei Giovanni Battista Morgagni (1682–1771) in Padua arbeiten zu dürfen, ging leider nicht in Erfüllung. Ein schweres Fieber packte ihn auf der Reise dorthin und brachte ihn an den Rand des Grabes.

Den langsam Genesenden erreichte nun in Italien ein Ruf an die Petersburger Akademie als Professor für höhere Mathematik. Er hatte nämlich durch sein mathematisches Erstlingswerk, *«Exercitationes quaedam mathematicae»*, das 1724 in Venedig herauskam, die Augen der gelehrten Welt auf sich gezogen. Diese Arbeit enthielt schon die Grundlagen seiner Hydrodynamik. Mit tausend Freuden nahm der junge Gelehrte die Berufung an, denn er hoffte auf eine glückliche Arbeit zu zweit mit seinem geliebten Bruder Niklaus, den man gleichzeitig in die russische Hauptstadt gerufen hatte. Ein weiteres, höchst ehrenvolles Angebot, den Präsidentenstuhl der neu zu gründenden Akademie in Genua anzunehmen, lehnte er deswegen ab.

1725 traten die beiden Brüder ihre Stellen an. Schon nach neun Monaten mußte Daniel zu seinem großen Schmerze erleben, daß sein Bruder, erst einunddreißigjährig, plötzlich starb. Dieser Schicksalsschlag und das rauhe Klima, das seiner Gesundheit erheblich zusetzte, ließen sein Heimweh gewaltig anwachsen. Es zog ihn wieder nach Basel zurück. Dreimal bewarb er sich in den nächsten acht Jahren aus der Ferne um eine Professur in seiner Vaterstadt, immer ohne Erfolg. Im Jahre 1733 hielt er es, wie wir gesehen haben, nicht mehr länger aus. Zusammen mit seinem jüngeren Bruder Johann, der auf Besuch zu ihm in die Kapitale an der Newa gekommen war, reiste er nach Hause. Auf dieser Reise haben wir ihn angetroffen und haben auch schon von seiner glücklichen Wahl zum Professor für Anatomie und Botanik gehört. Zwei Tage nach seiner Wahl wurde Daniel Bernoulli noch in absentia zum Doktor der Medizin promoviert, da er ja alle Examina früher bestanden hatte. Am 18. Dezember 1733 hielt er in Basel seine Antrittsvorlesung.

Sein Schaffen an der Basler Universität war vorerst nicht so glücklich, wie er es sich in der Fremde noch vorgestellt und erhofft haben mag. Welche Schuld daran die wenig gedeihlichen Verhältnisse an der Basler Universität und insbesondere an der medizinischen Fakultät trugen, wollen wir in einem späteren Kapitel genauer darlegen. Das Schlimmste aber waren die unablässigen versteckten und offenen Angriffe auf seine Amtsführung. Man war nicht allorts mit ihm zufrieden. Die Vorwürfe, die man Bernoulli machte, waren indessen zum größten Teil unberechtigt oder doch stark übertrieben. Es gab

sicher auch schwache Punkte in Bernoullis Lehrtätigkeit. Doch wenn man einen Vergleich zieht zwischen seinen Leistungen als Professor für Anatomie und Botanik und denjenigen seiner unmittelbaren Vorgänger und Nachfolger, so kann er in Ehren bestehen. Wir begreifen vorerst gar nicht, warum gerade er immer wieder die Zielscheibe unschöner Angriffe war.

So findet sich zum Beispiel im Großratsprotokoll vom 2. Oktober 1741 folgender Passus:

«Angezogen: Professio Anatomica und Botanica werde bey einigen Jahren her nicht exerciert und dociert, sollte deswegen eine Lobl. Universität mit Zuziehung Lobl. Dept.amtes das nötige vorkehren.»

Diese Interpellation empört uns geradezu. Den Ratsherren machte sie allerdings keinen besonderen Eindruck. Dieses «langweilig und verdrießlich Geschäft» hatte in den letzten Jahren schon mehrmals auf ihrer Traktandenliste gestanden. Nachdem schon bald nach Bernoullis Amtsantritt die ersten Klagen über seine Lehrtätigkeit laut geworden waren, wurde kurz darauf im Großen Rate ein «Anzug» eingereicht mit dem Vorschlage, die Professoren für Anatomie und Physik sollten ihre Lehrstühle miteinander tauschen. Jetzt brauchte es für die Ratsherren keinen besonderen Spürsinn mehr, um zu merken, wer dahintersteckte. Der Physikprofessor Benedikt Stachelin (1695–1750) wäre gerne Anatomieprofessor geworden¹. Er hatte 1733 mit Bernoulli im Dreier-vorschlag gestanden, doch das Los war ihm nicht hold gewesen. Er und seine Anhänger machten sich nun gewisse Mängel im Anatomie- und Botanikunterricht zunutze – für die aber, wie wir sehen werden, Bernoulli nicht allein verantwortlich war – und trugen deswegen immer wieder Angriffe gegen ihn an die Öffentlichkeit. Wenn Bernoulli in seinem Amte nicht mehr tragbar war, dann kam seine große Chance, so überlegte sich Stachelin.

Es war für den Großen Rat und die Regenz äußerst peinlich, hier einen Entscheid zu fällen. Man wollte Daniel Bernoulli, der in der Stadt hoch angesehen war, durch seine Versetzung nicht vor den Kopf stoßen, und zudem war das Intrigenspiel Benedikt Stachelins auch nicht nach dem Geschmack der hohen Herren. So tat man denn das Bequemste, was man tun konnte – nämlich gar nichts, oder genauer gesagt, man zögerte die Sache jahrelang hinaus, ohne einen Entscheid zu fällen.

Glücklicherweise fand dann die Angelegenheit im Jahre 1743 mit einem Schlag eine Lösung. Daniel Bernoulli schlug selbst folgenden teilweisen Abtausch vor: Der Professor für theoretische Medizin, Emanuel König II. (1698 bis 1752), sollte fürderhin die Vorlesungen über Botanik halten, während er

¹ Benedikt Stachelin: geb. 1695 in Basel, Studien in Basel und Paris; Dr. med., 1727 Professor der Physik in Basel. Als Botaniker besaß er besondere Kenntnisse der Moose und Schwämme und war mit Albrecht Haller befreundet. Er hinterließ keine wissenschaftlichen Publikationen von Bedeutung und starb 1750 in geistiger Umnachtung.

selbst diesem diejenigen über Physiologie abnahm. – Bernoulli hatte die Botanik stark vernachlässigt. – Mit diesem Vorschlag ließ sich deshalb die Streitfrage, die immer wieder zu Kritik Anlaß gab, leicht und schmerzlos aus der Welt räumen. Die Regenz war sofort einverstanden und bewilligte den Abtausch.

1750 erlag Benedikt Staehelin einer schweren Geisteskrankheit. Jetzt war der Augenblick gekommen, um Daniel Bernoulli an den rechten Platz zu setzen und ihm volle Genugtuung zu verschaffen. Das haben die Basler getan, – zu ihrer Ehre sei es gesagt. Ohne die Stelle auszuschreiben oder die Wahl den Launen eines Losentscheides zu überlassen, wurde Daniel Bernoulli direkt zum Professor für Physik ernannt. Daß er dazu glänzend befähigt war, hatte er in den letzten zwei Jahren bewiesen, als er während der Krankheit von Benedikt Staehelin neben seinen übrigen Pflichten fast die ganze Physik gelesen hatte. Die Basler Behörden erhöhten dem neuen Physikprofessor die Besoldung wesentlich. Er behielt auch Sitz und Stimme in der Medizinischen Fakultät, weil die «Artisten» damals nicht als vollwertig galten.

26 Jahre hindurch, bis in sein hohes Alter, hielt Daniel Bernoulli im Stachel-schützenhaus seine Vorlesungen über Experimentalphysik. Sie sollen von bestechender Klarheit und Verständlichkeit gewesen sein. Mehr als 100 Zuhörer – eine große Zahl beim damaligen Tiefstand der Universität – folgten oft seinen Ausführungen. Besonderes Geschick besaß er im Experimentieren. Es sammelte sich deshalb um ihn ein Kreis von Männern, die sich eifrig mit dem experimentellen Teil der Physik beschäftigten. Zu ihnen gehörten Abel Socin (1729–1808)¹, der die Vorlesungen Bernoullis über die Elektrizitätslehre in einem vielbenützten kleinen Lehrbuch zusammenfaßte, und Johannes Dietrich (gestorben 1758), ein Mechaniker von großem Geschick. Er hat unter der Leitung von Bernoulli wahrscheinlich die ersten Hufeisenmagnete und sicher die besten Inklinatorien² seiner Zeit hergestellt.

Während der langen Zeit seines Wirkens in Basel hat sich Daniel Bernoulli oft von ganzem Herzen hinausgesehnt aus den überaus engen Basler Verhältnissen, wo seinem Forschungsdrang immer wieder unübersteigbare finanzielle Schranken entgegenstanden. In seinen Briefen an den berühmten, in Riehen geborenen Landsmann Leonhard Euler (1707–1783) hat er seinem

¹ Abel Socin: geb. 1729 in Basel, 1758 Dr. med., 1761 Professor für Medizin und Physik am Gymnasium in Hanau. Hessischer Hofrat und Leibarzt. 1778 kehrte er nach Basel zurück und widmete sich von da an bis zu seinem Tode privaten Studien über Physik und Mathematik.

² Eine um ihren Schwerpunkt frei bewegliche Magnetnadel stellt sich auf der nördlichen Halbkugel mit ihrem *Nordpol*, auf der südlichen Hemisphäre mit ihrem *Südpol* abwärts geneigt ein, wobei zugleich ihre magnetische Achse in der Vertikalebene des magnetischen Meridians liegt. Diese als Inklination bezeichnete Erscheinung wird durch den Winkel i gemessen, welchen die magnetische Achse der Inklinationsnadel mit der Horizontalen ihres Aufstellungsortes bildet. Das zur Messung der Inklination dienende *Inklinatorium* besteht aus einer Inklinationsnadel, welche parallel zu einem vertikalen, in die Ebene des magnetischen Meridians einzustellenden Teilkreis drehbar ist. Der Inklinationswinkel beträgt für Mitteleuropa 60–70°.

Ärger oft Luft gemacht, und wir lesen da wenig Schmeichelhaftes über seine Vaterstadt:

... «Allhier habe ich weder einige Anmut noch die geringste Gelegenheit etwas zur Vermehrung der wahren Wissenschaft zu kontribuieren» (4. Januar 1746), oder: «Da mir gegenwärtige Station in Basel über alle Maßen zuwider ist ...» (22. September 1747).

Er hätte oft Gelegenheit gehabt, den Staub seiner Vaterstadt von den Füßen zu schütteln und von dieser «widerwärtigen Station» seines Lebens wegzukommen. Immer wieder erreichten ihn nämlich höchst ehrenvolle Berufungen von berühmten Akademien, so von Petersburg und von Berlin. Aber sonderbarerweise hat er sie alle abgelehnt. Die Rücksicht auf seine hochbetagten Eltern, seine schwache Gesundheit und wahrscheinlich auch eine tiefe, nur nach außen hin verleugnete Liebe zu seiner Vaterstadt, mögen ihn zurückgehalten haben.

Vom Jahre 1776 an ließ sich Bernoulli durch seine Neffen Daniel und Jakob auf seinem Lehrstuhle vertreten. Es plagten ihn in zunehmendem Maße mancherlei Altersbeschwerden, die ihm aber doch bis an sein Lebensende eine gewisse Tätigkeit erlaubten. Ein sanfter Tod erlöste ihn am 17. März 1782 von seinen Leiden. Er wurde ohne großes Gepränge zu St. Peter begraben.

4. Daniels wissenschaftliche Leistungen

Als größtes und geschlossenstes Werk imponiert uns das 1738 in Straßburg im Druck erschienene Werk «Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum». Es handelt sich hier um die erste Monographie eines Gebietes der neueren Physik. Der Begriff «Hydrodynamik» wurde vom Verfasser ganz neu geschaffen. Er bezieht sich auf die quantitative Bewegungslehre von Luft und Wasser. Die leitende Idee ist das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Der seither allgemein verwendete Begriff des hydrodynamischen Druckes wird hier eingeführt. Die Gesetze beim Fließen einer Flüssigkeit in Röhren mit wechselndem Querschnitt werden untersucht. Neu ist auch der Begriff der Viskosität, der inneren Reibung. Der Satz von der Erhaltung der Energie bei Flüssigkeiten wird hier zum erstenmal formuliert. Nicht minder wichtig ist das, was Bernoulli über die Dynamik der Gase zu sagen hat. Mit seiner kinetischen Gastheorie hat er in groben Umrissen eine der wichtigsten und fruchtbarsten wissenschaftlichen Theorien unserer Zeit formuliert. In der gleichen zehnten Sektion der Hydrodynamik, in der die kinetische Gastheorie entwickelt wird, legt Bernoulli auch dar, daß die Wärme bedingt ist durch den Schwingungszustand der Moleküle. Bei der Besprechung von Bernoullis physiologischen Arbeiten werden wir noch mehrmals auf die Hydrodynamik zu reden kommen.

Daniel war ein passionierter Musikfreund, und in mehreren Abhandlungen hat er sich mit der Physik von Musikinstrumenten befaßt. Die Theorie der Flöten, der schwingenden Zungen und vor allem der Orgelpfeifen verdankt ihm ihre erste wissenschaftliche Darstellung¹. Seine mathematische Theorie der schwingenden Saiten hat Physik und Mathematik nachhaltig beeinflusst². Seine Untersuchungen über die Schwingungen einer schweren, nur an einem Ende fixierten Kette³ deckten ganz neue mathematische Gesetzmäßigkeiten auf. Er hat ferner als erster das Gesetz von der Erhaltung der Energie auf die Planetenbewegungen angewendet⁴.

Unter den Arbeiten, die von der Pariser Akademie preisgekrönt wurden, findet sich eine Reihe solcher, die sich mit Fragen der Seeschifffahrt befassen. So werden die Gesetze der Meeresströmungen untersucht⁵. Ferner behandelt er die Fortbewegung großer Schiffe durch Menschenkraft und durch den Wind⁶. Hier werden interessante arbeitsphysiologische Probleme angeschnitten, denen später eine besondere Betrachtung gewidmet sei. In weiteren Arbeiten wird nach den Mitteln gesucht, um die passiven Schiffsbewegungen, das Rollen und Schlingern, zu vermindern⁷, und eine damals völlig neuartige Theorie der Gezeiten gegeben, die auch heute noch unsere Aufmerksamkeit verdient⁸.

Auch das Gebiet des Magnetismus hat Bernoulli entscheidend gefördert. Durch den Mechaniker Dietrich wurden nach seinen Angaben die ersten Hufeisenmagnete konstruiert. Aus der gleichen Werkstatt fanden auch die genauesten und besten Inklinationsnadeln ihren Weg in alle Welt hinaus. Die theoretischen Grundlagen dieses Arbeitsgebietes finden sich in zwei preisgekrönten Schriften Bernoullis: «Nouveaux principes tendant à expliquer la nature et les propriétés de l'aiman» und «Mémoire sur la manière de construire les boussoles d'inclination»⁹.

Zum Schlusse sei noch kurz ein Forschungsergebnis Bernoullis aus dem Gebiet der Elektrizitätslehre erwähnt. In den Akten des Jahres 1760 der «Societas physico-mathematico-anatomico-botanica Helvetica» findet sich ein Artikel von Abel Socin unter dem Titel «Tentamina electrica in diversis morborum generibus, quibus accedunt levis electrometri Bernoulliani adumbratio et quorundam experimentorum». Socin beschreibt hier zuerst einige therapeutische Anwendungen der Elektrizität, die unter der Aufsicht von Daniel Bernoulli erprobt worden waren. Die Elektrizität wurde, wie damals üblich,

¹ Hist. Acad. royale des sciences. Paris 1762, p. 431 ff.

² Comment. acad. Petropolit., Tom. XVI, p. 257.

³ Comment. acad. Petropolit., Tom. VI, p. 108.

⁴ Comment. acad. Petropolit., Tom. X, p. 116.

⁵ Recueil des Pièces, qui ont remporté le prix etc. Tom. VII, Paris 1751.

⁶ Recueil des Pièces, qui etc. Tom. VII, Paris 1753.

⁷ Recueil des Pièces, qui etc. Tom. VIII, Paris 1757.

⁸ Le flux et le reflux de la mer (Recueil des Pièces, Tom. IV, Paris 1740).

⁹ Recueil des Pièces, qui etc. Tom. V und Tom. VI, Paris 1743 und 1746.

durch Reiben einer Glaskugel gewonnen. Den Funken ließ man dann auf den Körperteil überspringen, auf welchen eine elektrische Einwirkung beabsichtigt war. Socin weiß von einigen glücklich verlaufenen Kuren zu berichten. Nebenbei macht er uns in diesem Artikel auch mit einem von Bernoulli konstruierten Elektrometer bekannt. Es handelt sich um eine Senkwaage, mit welcher durch aufgelegte Gewichte die Anziehungskraft eines elektrischen Körpers bestimmt wurde. Mit diesem Instrument, so unvollkommen es sein mochte, wies er nach, daß bei konstanter Elektrizitätsmenge die Anziehungskraft mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt, ein Gesetz, das Coulomb später mit vervollkommenem Apparat wieder gefunden hat.

Unsere Auswahl bei der Darstellung von Bernoullis mathematischem und physikalischem Schaffen ist sicher sehr unvollständig und zum Teil auch rein zufällig. Auch hier fehlt uns neben dem Platz ganz einfach das mathematische Können, um zu einer erschöpfenden, wohlfundierten, kritischen Würdigung des großen Gelehrten zu gelangen. Sie hat aber ihren Zweck erfüllt, wenn sie dem Leser eine Vorstellung vermittelt von der gewaltigen Vielseitigkeit der Probleme, die Bernoulli angepackt und gelöst hat.

Wenn wir zum Schluß noch zu den sechs Publikationen rein medizinischen Inhaltes kommen, die im Druck erschienen sind, so können wir von ihnen nicht behaupten, sie hätten in der damaligen wissenschaftlichen Welt gleiches Aufsehen erregt wie zum Beispiel die Hydrodynamik. Doch auch sie zeugen von einer großen Originalität und Geistesschärfe. Auch sie sind, wie alles, was von Daniel Bernoulli herrührt, ein Produkt selbständigen und unabhängigen Denkens. Unsere nachfolgenden Betrachtungen werden sich zu einem großen Teil mit dem Inhalt dieser Schriften befassen, so daß wir es hier bei einem ganz knappen Überblick bewenden lassen können.

Von der 1721 erschienenen Inauguraldissertation («De respiratione») wissen wir bereits, daß sie sich mit den wichtigsten Kapiteln der Atemphysiologie befaßte. 1726 versuchte Bernoulli in seinem «Tentamen novae de motu musculorum theoriae» eine neue Erklärung für die Muskelkontraktion zu geben. Im gleichen Jahre berichtete er auch von einer eigenen Methode, die Ausdehnung des «blinden Flecks» im Auge zu bestimmen («Experimentum circa nervum opticum»). Im vorgerückten Alter konzentrierte sich sein Interesse vor allem auf medizinisch-statistische Fragen. Davon zeugen seine Schriften: «Essai d'une analyse de la mortalité causée par la petite vérole et des avantages de l'inoculation pour la prévenir» (1760) und «De duratione media matrimoniorum» (Die mittlere Dauer der Ehen) (1768).

II. DANIEL BERNOULLI ALS PHYSIOLOGE

1. Einleitung

a) Zur Entwicklung der Naturwissenschaften und der Physiologie im 17. und 18. Jahrhundert

Im Jahre 1543 verließ das große Hauptwerk Andreas Vesals «De humani corporis fabrica» die Basler Druckerpresse des Johannes Oporin. Damit begann eine neue Epoche in der Anatomie. Sie wurde fortan betrieben als sorgfältige Präparation und Beschreibung der menschlichen Organe, und niemand glaubte mehr, falsch gesehen zu haben, wenn er in der Leiche andere Verhältnisse vorfand, als Galen sie beschrieben hatte. Diese großen Fortschritte der Anatomie im 16. Jahrhundert waren eine der wichtigsten Vorbedingungen für die triumphalen Erfolge, welche die Physiologie im 17. Jahrhundert erringen konnte. Daneben haben allerdings große kulturelle und geistesgeschichtliche Wandlungen einen wesentlichen Einfluß ausgeübt. Es begann die Epoche, die man als Zeitalter des Barock bezeichnet. Der Geist dieser Zeit liebte es, Sinnliches und Übersinnliches miteinander zu vermischen, er hatte Freude am Ornamentalen, Verspielten und Bewegten. Dies äußerte sich auch in der Wissenschaft. Ihre Entwicklung lief auf eine immer weitergehende Bevorzugung des Dynamischen vor dem Statischen hinaus. Die statische Physik des Archimedes wurde durch die dynamische Galileis verdrängt. Die Blutbewegung wurde von Harvey als dynamische Kreisbewegung erkannt.

In seinem «Novum Organum» (1620) betonte Francis Bacon von Verulam (1561–1626) den Wert der logisch durchdachten induktiven Forschung. Das wissenschaftliche Interesse für die Einzelforschung erwachte, die Methode des Experimentes wurde systematisch gepflegt. Immer mehr löste man sich von den alten Autoritäten wie Aristoteles und Galen. Das bedeutendste wissenschaftliche Leben spielte sich außerhalb der Universitäten ab, denn diese waren noch allzusehr an die Dogmen der Kirche und die Autorität des Staates gebunden. So schossen wie Pilze wissenschaftliche Vereinigungen und Akademien aus dem Boden, in denen freier Gedankenaustausch möglich war. 1603 wurde in Rom die «Accademia dei Lincei», 1652 in Deutschland die «Academia naturae curiosorum», 1662 in London die «Royal Society», 1665 in Paris die «Académie des Sciences» gegründet. Die Abhandlungen dieser Institutionen sorgten für die rasche Verbreitung neuer Erkenntnisse.

Die physikalischen und chemischen Wissenschaften nahmen in dieser Epoche einen außerordentlichen Aufschwung. Viele klassische naturwissenschaftliche Arbeiten wurden während des 17. Jahrhunderts geschaffen. Die Optik, die Mechanik fester und flüssiger Körper, die Physik der Gase wurden entscheidend gefördert. Die Chemie löste sich von der Alchemie. Die experimentelle Methode und die mathematische Behandlung wissenschaftlicher Probleme feierten hier Triumphe. Diese faszinierenden Leistungen verfehlten ihren Eindruck auf die Ärzte jener Zeit nicht. Eine Richtung unter ihnen baute die Heilkunde auf den theoretischen Grundlagen der Physik und vor allem der Mechanik auf. Diese Richtung nennt man die Iatrophysik. Ihre Vertreter handelten nach dem Wort, das Galilei zugeschrieben wird: «Miß, was meßbar ist, und mache meßbar, was noch nicht zu messen ist.» Die Philosophie von René Descartes (1596–1650) war eine bedeutende Stütze und Ermutigung für die physikalisch-mechanische Richtung der Medizin. Er machte als erster den Versuch, alle Vorgänge im Körper nach rein mechanischen Gesetzen zu erklären («De Homine», 1662). Der menschliche Körper ist für ihn eine irdische Maschine, die nach den Gesetzen ihres Triebwerkes abläuft wie eine Uhr. Die Seele, welche von Gott geschaffen ist, bewohnt dieses Uhrwerk. Sie greift aber nur bei den willkürlichen Bewegungen in die körperlichen Verrichtungen ein.

Den nachhaltigsten Einfluß auf die Entwicklung der Schule der Iatromechaniker übte ohne Zweifel Giovanni Alfonso Borelli (1608–1679) aus Pisa aus. Er verfügte über ein umfassendes Wissen auf dem Gebiet der Mathematik und Physik. In seinem zweibändigen großen Werk «De motu animalium» wendete er im großen Stile mechanische Prinzipien auf physiologische Probleme an. Das Werk, das erst nach seinem Tode 1680/81 im Drucke erschien, enthält Untersuchungen über den Flug der Vögel, das Schwimmen der Fische und die Bewegungen der menschlichen Gliedmaßen. Es analysiert die Mechanik der Atembewegungen, den Vorgang der Muskelkontraktion und berechnet die Arbeit des Herzens. Damit war die neue Arbeitsweise definitiv in die Biologie eingeführt, und von jetzt an riß die Reihe der Versuche nicht mehr ab, physikalische Methoden zur Erklärung der physiologischen Vorgänge heranzuziehen. Ihren Höhepunkt erreichte die Iatrophysik in Italien mit Giorgio Baglivi (1668 bis 1707). Auch in England fand sie viele Anhänger, so James Jurin (1684 bis 1750) und James Keill (1671–1721).

Die Zwillingsschwester der Iatromechanik war die Iatrochemie. Sie versuchte, die physiologischen Probleme mit dem Rüstzeug der damaligen Chemie anzugehen. Zu ihren Begründern gehörten Paracelsus (1493–1541) und Johann Baptista von Helmont (1577–1644). An sie anschließend, entwickelte der bedeutendste Iatrochemiker Franz de le Boë, genannt Sylvius (1614–1672), der in Basel zum Doktor der Medizin promoviert worden war, sein System. Für ihn sind die Lebensvorgänge chemische Umsetzungen, die er Gärung oder Fer-

mentation nennt. Die chemischen Theorien erwiesen sich vor allem als fruchtbar für die Erklärung der Verdauungsvorgänge.

Eine scharfe Grenze können wir zwischen den Vertretern der beiden Richtungen nicht ziehen, weil gerade die bedeutendsten unter ihnen sowohl Chemie wie Physik zur Erklärung der Lebensvorgänge zu Hilfe nahmen. Wenn wir die Leistungen beider Schulen beurteilen wollen, so entdecken wir oft zu unserer Enttäuschung, daß sie durch spekulative Verallgemeinerungen an und für sich richtige Beobachtungen zur Grundlage unhaltbarer Theorien gemacht haben. Bei den Iatrophysikern trat an die Stelle der scholastischen Dialektik die Mathematik, die nicht selten auf scheinbar exaktem Wege zu den größten Verirrungen geführt hat. Entscheidend bei der Beurteilung dieser Epoche bleibt aber immer, daß sie am Grundprinzip der exakten Forschung festhielt und es nicht an Versuchen fehlen ließ, die Physiologie zu einer exakten Wissenschaft zu machen.

Während bei Iatrochemikern und Iatrophysikern über den peripheren Vorgängen, die nach chemischen oder physikalischen Gesetzen ablaufen, die Seele als eine von Gott in das belebte Wesen hineingelegte geheimnisvolle Kraft steht, hielten die sogenannten Vitalisten gegenüber diesem Dualismus an der Vorstellung eines einzigen spezifischen Lebensprinzips fest, dem sie verschiedene Namen beilegte. Die Annahme einer solchen Lebenskraft spielte in der Biologie neben der mechanischen Auffassung eine große Rolle («Archaeus» von Paracelsus und van Helmont, «Irritabilitas» von Glisson).

Um die Wende zum 18. Jahrhundert trat ein tiefer Wandel im abendländischen Denken ein. John Lockes Schrift «Essay concerning human understanding» wurde 1700 ins Französische übersetzt. Damit fanden die darin vertretenen Gedanken überall Eingang: Jede Erkenntnis soll sich auf Erfahrung stützen. Der Wissenschaftler hat empirische Tatsachen zu sammeln, sie mit der Kritik seiner Vernunft zu deuten und diese Deutung wieder an den Tatsachen zu prüfen.

Am Anfang dieser Zeit der sogenannten Aufklärung steht der große, universale Denker Wilhelm Leibniz (1646–1716). Sein Bestreben war es, alle Kontraste und Gegensätze miteinander zu versöhnen: Mechanismus und Teleologie, Religion und Philosophie, Naturwissenschaft und Philosophie. Die exakten Naturwissenschaften machten bedeutende Fortschritte. Die Physik der Gase, der Elektrizität und der Wärme wurden um manche Erkenntnis bereichert. Man würde meinen, daß darin auch manche Anregung für die Medizin und besonders die Physiologie gelegen hätte. Vorerst haben sich diese aber nicht wesentlich weiter entwickelt. Das Streben der Ärzte am Anfang des Jahrhunderts ging nach Einheit in der Weltanschauung und in der praktischen Betätigung. Dieses Suchen nach einer Einheit finden wir auch in der Physiologie. Die großen Systematiker dieser Zeit bemühten sich, das bisherige Wissen zu ordnen und nutzbar in das

praktische und theoretische Denken einzufügen. Dies tat mit großem Erfolg Hermann Boerhaave (1668–1738) in Leyden an der dortigen berühmten Universität. Erst die zweite Hälfte des Jahrhunderts ließ dann mit Albrecht Haller, A.L. Lavoisier und Luigi Galvani viele Einzelprobleme der Physiologie ihrer Lösung entgegenreifen und brachte diesem Forschungsgebiet neue Impulse.

b) Basel und seine Universität im 18. Jahrhundert

Wenn im 18. Jahrhundert ein abendlicher Spaziergänger vom Kirchplatz auf dem Margarethenhügel seine Blicke über die Stadt Basel schweifen ließ, die vor ihm in der Rheinebene dalag, so bot sich ihm ein malerisches Bild. Ein starker Mauerring umschloß die Stadt vom St. Johann- bis zum St. Alban-Tor, vom Waisenhaus bis zum Klingental, an den wichtigsten Stellen verstärkt durch wuchtige Festungswerke. In seltsamem Gegensatz zu diesem wehrhaften Aussehen standen die Hirsche und Rehe, die in den Gräben weideten, und der friedliebende Charakter der Einwohner, die in behaglichem Gefühl des Geborgenseins auf den Mauern lustwandelten. Innerhalb der Mauern waren in den Vorstädten noch ausgedehnte grüne Flächen zu sehen, Gärten und kleine Rebgütlein der Bürgerschaft. In der Altstadt aber drängten sich die schmalen, spitzen Giebel. Nur die hohen breiten Türme der Kirchen erhoben sich über das enge Gewirr, und alles überragte das Münster, dessen zierliche Turmsilhouette den Himmel zu berühren schien.

Basel trat unter ungünstigen Auspizien ins 18. Jahrhundert ein. 1690/91 hatten innere politische Unruhen den kleinen Stadtstaat erschüttert. Gerade bei Anbruch des neuen Jahrhunderts dröhnte Kriegslärm über die Grenzen. Der spanische Erbfolgekrieg war ausgebrochen, und in unmittelbarer Nähe Basels fanden Kämpfe statt (1702 Schlacht bei Friedlingen, 1709–1711 Durchzug der Kaiserlichen). An den Eidgenossen fand das exponierte Basel keinen Rückhalt. Sie vernachlässigten ihm gegenüber ihre Bundespflichten. Es war daher in steter Drangsal, und seine Nachbarn schädigten es schwer. Es war dies auch eine Folge des religiösen Bruderzwistes, der im Schweizerlande wieder neu zum Ausbruch gekommen war. Der zweite Villmergerkrieg von 1712 fand zwar rasch ein Ende dank dem entscheidenden Sieg der Reformierten und nicht zuletzt dank der eifrigen Vermittlung des Basler Bürgermeisters Johann Balthasar Burckhardt. Aber in beiden Lagern blieb viel Bitterkeit zurück, und zu gemeinsamem Handeln bestand kaum mehr eine Möglichkeit.

Basel fand also in der eidgenössischen Politik nicht die ihm gebührende Stellung. Durch seine Bundespflichten war es aber auch an der Verfolgung einer eigenen Politik verhindert. So mußte es dazu kommen, daß alle politischen Kräfte gelähmt wurden und das Interesse an den öffentlichen Dingen zurückging. Der Gemeinsinn der Bürgerschaft erstarrte, und sie sank in einen

Zustand der Apathie. Einige bevorrechtete und finanziell unabhängige Familien übten die Herrschaft aus. Die Zünfte, früher der Hort der bürgerlichen Freiheit, wurden, weil ihnen die hohen Ziele fehlten, kleinlich und kriechend gegen die hohen Herren und tyrannisch gegen die Lehrlinge und Gesellen. Neueinbürgerungen kamen praktisch nicht mehr zustande, nur «qualifizierte Subjecter» mit 10 000 Reichstalern Vermögen wurden als Bürger aufgenommen. Man hatte die wertvolle Blutauffrischung vergessen, die gerade durch fremde Refugianten Basel immer wieder zuteil geworden war. Das Gerichtswesen war verwildert. Jahrzehntelang dauerten die Prozesse. Die Advokaten füllten ihre Plädoyers mit den abscheulichsten Verunglimpfungen der gegnerischen Partei.

Das alles wirkte sich natürlich auch ungünstig auf das Leben der Universität aus. Um die «Alma mater Basiliensis» wurde es stille. Es waren längst nicht mehr die Zeiten wie um 1600, als jährlich über 100 Studierende sich an der Basler Universität immatrikulierten, unter ihnen mehr als 20 Mediziner. Der einst so begehrte Basler Doktorhut war nicht stark gesucht. Im 18. Jahrhundert sank der Zugang immer tiefer. Dies mochte verschiedene Gründe haben. Der Drang zum Studium hatte überhaupt abgenommen. Moralphilosophie, französische Literatur, Musik und Malerei konnten die Herzen in dieser Zeit viel mehr erwärmen als die strenge akademische Forschung. Vor allem aber wurden im Ausland neue Universitäten mit großartiger Ausstattung gegründet, und daneben wurden die alten Hochschulen durch reichliche Staatsbeiträge wieder in die Höhe gebracht. In Basel geschah trotz den Warnungen und Vorschlägen von Isaak Iselin (1728–1782) nichts. Nicht einmal genügend Zimmer für die wenigen auswärtigen Studenten waren oft aufzutreiben. Schweizer und sogar Basler Studenten zogen es vor, an ausländischen Universitäten zu studieren. Diese boten ihnen bessere Einrichtungen und ausgelasseneren Studentenfreuden.

Am meisten interessiert uns natürlich in unserem Zusammenhang der Betrieb an der Medizinischen Fakultät. Wir möchten vor allem wissen, wie sich dort im allgemeinen der anatomische Unterricht gestaltete.

Drei Professoren bestritten die Lehrtätigkeit: Der Theoreticus und der Practicus. Wohl hatte jeder Professor sein offizielles Programm, daneben konnte er aber noch ankündigen, was er wollte. Die Studenten befolgten keinen systematischen Studiengang, sondern sie hörten von Anfang an alles mit- und durcheinander. Sie gingen im ersten Semester ins Spital und hörten zugleich Anatomie der Sinnesorgane. Schlimm war es zeitweise um die Sektionen in der Anatomie bestellt. Die Leichenlieferungen hörten oft ganz auf. Der Anatomieprofessor mußte froh sein, wenn er eine Leiche im Jahr zur Verfügung hatte. Hie und da füllten Spitalsektionen die Lücke aus. Einige Jahre vor Daniel Bernoullis Amtsantritt hatte die Anatomie in Basel einen gewissen Aufschwung erlebt durch die Initiative von Professor Joh. Rudolf Mieß (1694–1733). Er hat zusammen mit dem jungen Albrecht von Haller

zweiundsiebzig Demonstrationen an fünf Leichen durchgeführt, die bei den Studenten großen Beifall fanden.

Im großen und ganzen aber lag das Hauptgewicht des Unterrichtes auf den Vorlesungen. Diese jedoch gingen außerordentlich langsam vonstatten.

Die Physiologie lag eigentlich im Aufgabenbereich des Professors der Theorie – neben der allgemeinen Pathologie und Therapie. Doch hat sicher immer wieder der Anatom auch Kapitel der Physiologie behandelt.

Der Anatomieunterricht litt im besonderen noch unter dem häufigen Wechsel, der auf diesem Lehrstuhl herrschte. Seine Inhaber suchten stets möglichst bald in die beiden andern besser gestellten Professuren nachzurücken, wenn eine frei wurde. Dies war der Kontinuität des Unterrichtes nicht eben förderlich.

Ansätze zur Besserung der mißlichen Verhältnisse an der Universität waren sicher auch vorhanden. Die Mehrzahl der Professoren waren tüchtige und eifrige Leute, die sich bei ihrer Lehrtätigkeit redlich Mühe gaben. Aber sie stießen bei den Behörden auf wenig Verständnis. Das soziale und gesellschaftliche Ansehen der Gelehrten war in der Stadt nicht besonders hoch. Sie durften nicht im Rate sitzen, wo sie ihre Interessen hätten vertreten können. Ihr Einkommen war gering, so betrug dasjenige des Anatomen zweihundert Pfund in bar, zuzüglich einige Naturalien. Da waren die Preise der Akademien je-
weilen ein willkommener Zuschuß. Dem Staat konnte man nicht einmal einen großen Vorwurf machen, wenn er seine Hochschule so knapp hielt. Es fehlte eben noch die Einsicht in den Nutzen der wissenschaftlichen Forschung. Mit öffentlichen Geldern wurde im allgemeinen sehr sparsam umgegangen. Die politischen Ämter waren unbesoldete Ehrenstellen. Es fehlte dem Staat an ergiebigen Einnahmequellen. So war es ihm unmöglich, wesentliche Geldmittel in die Universität zu stecken. Dadurch wurde die Basler Universität gegenüber ihren reichen Schwestern im Ausland immer mehr zum Dasein eines Mauerblümchens verurteilt.

2. Daniel Bernoulli als Professor der Anatomie und Botanik

In der Studierstube seines stillen und ruhigen Junggesellenheims, dem kleinen Engelhof am Nadelberg, sitzt der Professor für Anatomie und Botanik, Daniel Bernoulli, über ein Schriftstück gebeugt, das er soeben sorgfältig aufgesetzt hat. Im Hofe des Nebenhauses tummeln sich die Kinder seines Bruders Johann an der Märzsonne. Heute kann ihr Lachen den einsamen Mann nicht aufheitern. Ein bitterer Zug liegt auf seinem Gesicht, er hat eine höchst unangenehme Arbeit hinter sich. Das Schriftstück, das vor ihm liegt, ist ein an die Regenz gerichtetes Memorial, eine Verteidigungsschrift seiner Amtsführung, die man von ihm verlangt hatte, weil immer und immer wieder gemeine und

hinterhältige Angriffe gegen sie gerichtet wurden. Wir kennen diesen Streit und seine Hintergründe und wollen nicht mehr auf ihn eingehen.

Lesen wir nun über die Schulter des Dasitzenden einen Teil der Schrift mit. Dabei bekommen wir einen tiefen Einblick in die Art und Weise, wie Bernoulli die Anatomie und Physiologie betrieben hat¹.

«Endlich soll ich auch rechnung geben der methode halben, deren ich mich jeder Zeit in meinen Demonstrationen und Lectionen bedient. Ich sehe, daß man mir in der Mathematic, Physik, Mechanic und anderen dergleichen wüssenschaften einige erkanntnuß zuschreibet; wan dieses ist so kan ich nicht begreifen, worin ich diese wüssenschaften nutzlicher als in meiner jetzigen Profession anwenden könnte: Niemand alhier mag mehr gelegenheit gehabt haben als ich zu erfahren, worinn die wahre wüssenschaften bey der heutigen tages so erläuterten gelehrten Welt bestehen, was man reelles darin entdeckt und was noch ferners darin gesucht und desideriert werde. Man muß der Mathematic, obschon solche von einigen allhier sehr gering geschätzt wird, das wohlverdiente Lob zuschreiben, daß sie allein die übrigen wüssenschaften, so aus der Vernunft hergeleitet werden müssen, von vielen groben irrthümmern und von allen praejudiciis gesäubert, und das würlkliche von den eingeschlichenen falschen erdichtungen abgesondert habe; ich scheüe mich nicht zu sagen, wan ich gleich dessen Verlachung von einigen vor sehe, daß was die Reformatores in unserer heiligen Religion gethan, solches Mathematici in den künsten und wüssenschaften verrichtet, deswegen auch diese sciencz von den größten Potentaten so kräftig beschützt und von allen kennenern so hoch gepriesen wird; diese wüssenschaft, so weit sich solche in mir erstrecken mag, hab ich mir in meiner Profession zu nutz gemacht, und wie solte man wohl die vornehmsten theil der Anatomie ohne derselben Hülff die osteologiam und myologiam ohne eine wahre erkanntnuß der Mechanic, die structuram oculi ohne die optic, die structuram organi auditus ohne die acustica, die respirationis organa ohne die Geometri und physik, die fabricam cordis et systematis vasorum sambt den legibus circulationis fluidorum ohne die hydrodynamica und so weiters tractieren können? Alles dieses hab ich mit großem fleiß untersucht, meinen zuhöreren getreulich gewiesen, und getrachtet solche auff den rechten Weg und zur Erkantnuß der wahren wüssenschaft zu führen. Meine Lectionen würde ich mich nicht scheüen trucken zu lassen, um solche dem urtheil aller gelehrten ja der Königlichen Academien der wüssenschaften zu underwerffen ...»

Diesen Sätzen brauchen wir nicht mehr viel beizufügen, klar und deutlich hat Bernoulli hier das Wesentliche seiner Lehrmethode herausgearbeitet. Mathematik und Physik sind für ihn das entscheidende Rüstzeug, dessen sich der Anatom und der Physiologe bedienen müssen.

Bernoulli erklärt in seiner Verteidigung, wie wir gelesen haben, er würde sich nicht scheuen, seine Lektionen drucken zu lassen, so sorgfältig seien sie immer ausgearbeitet gewesen. Schade, daß er es nie getan hat und daß Nachschriften von Studenten fehlen. So sind wir über den genaueren Inhalt der Vorlesungen leider nirgends ausführlich unterrichtet. Allerdings geben uns zwei Quellen recht wertvolle Hinweise. Da ist einmal der Lektionskatalog. Darin sind wenigstens die Titel der Vorlesungen angegeben, die Bernoulli angezeigt hat:

Sommersemester 1734, 1735, 1736: Lehre vom Bau der Teile des tierischen Körpers.

¹ Das Memorial findet sich vollständig wiedergegeben bei Kolb, Geschichte des anatomischen Unterrichts an der Universität zu Basel, S. 77/78. Es ist datiert vom 30. März 1743. (Staats-Archiv, Erziehung AA 4.)

Sommersemester 1737: Osteologie und Myologie unter Berücksichtigung der «mechanischen Gesetze».

Sommersemester 1738, 1739, 1740: Physiologie nach Boerhaave «anatomisch und mechanisch».

Sommersemester 1750: Muskellehre.

Die Wintersemester blieben theoretischen anatomischen Erklärungen an Hand gelegentlicher Demonstrationen vorbehalten. Einen etwas genaueren Einblick in den Stoff der Vorlesungen gewinnen wir aus etwa 30 von Bernoulli selbst handschriftlich geschriebenen Blättern, die eine fremde Feder mit «D. B. maj. Schemata Lectionum anatomicarum» betitelt hat. Wir glauben mit Kolb, daß hier nicht etwa eine Disposition zu seinen Vorlesungen vorliegt, sondern daß es sich vielmehr um Notizen handelt, deren er sich bei Prüfungen zur Stützung seines Gedächtnisses bedient hat. Sehr vieles ist nämlich darin in Frageform gekleidet, und eingestreut finden sich kurze Ansprachen an Examenkandidaten. Das mindert ihren Wert als indirekte Hinweise auf den Inhalt der Vorlesungen nicht, denn sicher hat Bernoulli am Examen hauptsächlich das gefragt, was er selbst einmal geboten hatte.

Sehen wir uns einmal das neunte Blatt etwas näher an. Es gibt uns eine Zusammenstellung aller anatomischen und physiologischen Themen, die auf den 30 handgeschriebenen Seiten angeschnitten sind:

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. Sanguinis Indoles | 14. Vita et incrementum foetus in utero |
| 2. Cor et circuitus sanguinis | 15. Partus naturalis secundinae lochia
et lactatio |
| 3. Pulmones et respiratio | 16. Nervi et eorum functio |
| 4. Secretio in genere | 17. Cerebrum et meninges, cum circulat.
sanguinis per caput |
| 5. Nutritio et lymphae motus | 18. Visus |
| 6. Ventriculus et digestio | 19. Auditus |
| 7. Intestina et chylicificatio | 20. Gustus et lingua |
| 8. Cutis et transpiratio | 21. Olfactus et tactus |
| 9. Salivae fontes et usus | 22. Actio musculorum |
| 10. Hepatis functio | 23. Regulae sanitatis tuendae in genere et
usus aeris ad sanitatem tuendam in specie |
| 11. Lienis functio | |
| 12. Renes, vesica et urina | |
| 13. Uterus et catameniae | |

Beim Lesen des zitierten Abschnittes aus dem Memorial des Lektionskataloges und der letzterwähnten Zusammenstellung der anatomischen und physiologischen Prüfungsthemen erkennen wir sofort, welch außerordentlich breiten Raum und große Bedeutung Daniel Bernoulli den Problemen der Physiologie in seinen Vorlesungen zugemessen haben muß. Daneben wissen wir ja, daß er 1743 vom «Professor Theoricus» offiziell die Vorlesungen für Physiologie übernahm, während jener von da an die Botanik las.

Dieses große Interesse für die Physiologie wundert uns nicht. Hier konnten die Gesetze der Mathematik und der neuen dynamischen Physik am nutzbringendsten angewendet werden. Bernoulli tat dies ganz im Sinne der Iatro-

physiker. Diese Arbeitsweise war für Basel nicht ganz neu. Der rührige Theodor Zwinger hatte schon Ende des vorigen Jahrhunderts «*Collegia physico-medica*» und «*Institutiones medicinae ex principiis mechanicis*» angezeigt. Johann Bernoulli, Daniels Vater, hat in seinen beiden medizinischen Doktorarbeiten mit Erfolg iatromechanische Ideen vertreten.

Wir werden die Gebiete der Physiologie, an die Daniel Bernoulli selbst einen Beitrag geleistet hat, sei es direkt durch eine Publikation physiologischen Inhalts oder indirekt durch seine physikalischen Arbeiten aus dem Bereich der Hydrodynamik, in den folgenden Kapiteln noch kennen lernen. Hier sei nur auf Folgendes hingewiesen: Beim genauen Durchsehen der Notizen auf den «*Schemata lectionum*» entdeckt man, daß er genau das seinen Studenten vorgetragen hat, was er in seinen Publikationen entwickelt hat. So bemerken wir, daß er bei seinen Examenskandidaten die Kenntnis aller Experimente voraussetzt, die in seiner Dissertation über die Atmung Erwähnung finden. Sie mußten wissen, wie die Menge der Inspirationsluft gemessen wird. Er verlangte von ihnen aber auch, daß sie die Arbeit des Herzens berechnen konnten und es verstanden, die Gesetze der Hydrodynamik auf den Blutkreislauf und die Pulslehre anzuwenden. Die Vorgänge bei der Kontraktion des Muskels mußten genau erklärt werden.

Die übrigen Kapitel der Physiologie, wie die Verdauungs- und Sinnesphysiologie, hat er wohl nach den Schriften von Boerhaave vorgetragen, bei dem mechanische Überlegungen und Deutungen auch eine große Rolle spielten.

Für einen interessierten Studenten waren Bernoullis Vorlesungen sicher anregend. Sein Vortrag war nicht langweilig. Es fehlten die hohlen Phrasen. Vielmehr waren die Darlegungen gewiß ebenso klar und gut durchdacht wie später seine Physikvorlesungen im Stachelschützenhaus vor der großen Zuhörerschar. Ohne Zweifel hat er noch manchen originellen Gedanken geäußert, der aber leider verloren ging.

Allerdings mögen nicht alle Studenten begeistert gewesen sein. Wer für Mathematik und Physik nicht viel übrig hatte, der saß sicher oft hilflos vor der Wandtafel, wenn der Meister dort die Muskelkontraktion mit Hilfe einer komplizierten Formel erklärte. Noch weniger begeistert waren die gleichen Studiosi wohl, wenn ihnen im Examen ähnliche Fragen von Bernoulli gestellt wurden.

Der eigentliche anatomische Unterricht mußte leider während Bernoullis Professur vorwiegend theoretisch bleiben. Mit dem Sezierkurs war es übel bestellt. Daran waren einmal die mißlichen räumlichen Verhältnisse schuld. Die Medizinische Fakultät war damals im untern Kollegium am Rheinsprung untergebracht, dort, wo sich heute die Zoologische Anstalt befindet. Im obern Teil dieses Gebäudes befand sich der medizinische Hörsaal, wo alle Vorlesungen abgehalten wurden, im untern das «*Theatrum anatomicum*», wo präpariert wurde. Dieses «*Theatrum anatomicum*» dürfen wir keinesfalls mit dem hohen

lichten Sezierraum in der heutigen anatomischen Anstalt vergleichen. Es war ein kleiner, finsterner Saal mit wenigen engen Fensterlein, aber mit um so mehr Rissen in den Wänden. Für die Winterszeit stand ein kleines Winterauditorium zur Verfügung. Dieses war heizbar, und hier konnte man auch in der kalten Jahreszeit präparieren, ohne daß die Finger vor Kälte steif wurden. In diesen Räumen seziierte der Professor. Dabei durften ihm die älteren Studenten zusehen. Von einem regelten Unterricht und systematischen Präparierübungen konnte unter diesen Umständen nicht die Rede sein; es war eher eine Befriedigung der Neugier der herumstehenden Studenten.

Alle diese Unzulänglichkeiten wären vielleicht zu überwinden gewesen, und es hätte ein einigermaßen ersprießlicher Anatomieunterricht aufgebaut werden können, wenn man wenigstens Leichenmaterial gehabt hätte. Aber um dessen Beschaffung war es während Bernoullis Professur mehr als übel bestellt. Weder aus der Armenherberge noch aus dem Spital wurden Leichen geliefert. Ein Teil der Schuld an diesem Übelstand trifft auch Daniel Bernoulli. Er hätte seiner vorgesetzten Behörde gegenüber energischer auftreten sollen. Er war wohl entmutigt, weil seine Vorstellungen immer ungehört verhallten und man auch nicht auf seinen Antrag eingegangen war, einen Prosektor anzustellen. In seiner Verteidigungsschrift schrieb er zwar, in Basel werde genau so viel präpariert wie an andern Universitäten. Wir können dies nicht recht glauben, sonst hätte man wohl kaum im Winter 1740/41 in Straßburg bei Prosektor Hummel ein «Skeleton et ossa capitis disiuncta» bestellen müssen. Das war ein trauriger Beweis dafür, daß man in Basel nicht mehr zustande brachte, was einst Vesal und Platter gekonnt hatten.

Bei solchen Zuständen war es natürlich mit der praktischen Ausbildung in Anatomie schlecht bestellt. Den Studenten fehlten wichtige Grundlagen für ihr ganzes Studium, um so mehr als sich die Vorlesungen über Jahre hinzogen und, auch wenn sie vortrefflich waren, den praktischen Anschauungsunterricht nicht ersetzen konnten.

Sechs Jahre lang, bis zu dem erwähnten Abtausch im Jahre 1743, war Bernoulli auch Professor für Botanik. Über seinen Botanikunterricht können wir nichts berichten, denn er hat unseres Wissens nie eine Botanikvorlesung gehalten. Das war an und für sich nicht schlimm, denn es gab zu jener Zeit recht viele ausgezeichnete «Privatdozenten» für Botanik an der Universität Basel. Dieses Versagen auf dem Gebiete der Botanik war einer der Hauptangriffspunkte für seine Gegner in dem schon oft erwähnten Streite.

Abschließend können wir sagen, daß der Anatomieunterricht an der Universität Basel unter Bernoullis Leitung nicht so war, wie er hätte sein sollen und können. An den vielen Mängeln war aber der Professor zum kleinsten Teil schuld, sie waren bedingt durch die allgemeinen Zerfallserscheinungen an der Basler Hochschule. Unter den unmittelbaren Vorgängern und Nachfolgern

Bernoullis war die Lage nicht besser. An den deskriptiven und präparatorischen Problemen der reinen Anatomie hat sich unser Physiker nie erwärmen können, den viel dynamischeren Aufgaben der Physiologie hat er sich mit viel Liebe gewidmet. Seine Vorlesungen physiologischen Inhaltes standen gewiß über dem Durchschnitt jener Zeit.

3. Daniel Bernoullis Inauguraldissertation über die Atmung

«Zugegeben, ich habe das ziemlich verwickelte und schwierige Gebiet der Atmung nur mit etwas bangem Herzen in Angriff genommen, und doch – sogleich hat es mich gepackt und mir Freude gemacht. Zwei Vorteile haben es mir angetan. Erstens schien mir das Gebiet noch nicht allzusehr ausgeschöpft. Ich gehe nichts so sehr aus dem Wege wie der Gewohnheit von Kompilationen; hier aber kann man auch noch etwas Neues zufügen, und darüber hinaus bedürfen viele Irrtümer, die von andern überliefert wurden, der Korrektur. Der zweite nicht minder gewichtige Vorteil ist der, daß diese Materie vor allen andern dazu angetan ist, den Nutzen und die Notwendigkeit eines fruchtbaren und gediegenen Mathematikstudiums so recht klar werden zu lassen, weil die Probleme in beide Gebiete, in Medizin und Mathematik hinein sich erstrecken.»

So schreibt der 21jährige Doktorand der Medizinischen Fakultät Basel, Daniel Bernoulli, voll Begeisterung und Unternehmungslust im Vorwort zu seiner «Dissertatio inauguralis physico-medica de respiratione», die er am 2. September 1721 eingereicht hat. Bevor wir einen kurzen Gang antreten durch die vier Kapitel von Bernoullis Dissertation, wollen wir uns einige Tatsachen aus der Geschichte der Atemphysiologie bis zur Entstehung dieser Abhandlung vergegenwärtigen. Wir können uns dann eher ein Bild davon machen, was an Neuem noch zuzufügen war und welche Irrtümer zu korrigieren waren, wie es sich unser junger Gelehrter so kühn vorgenommen hatte.

Schon seit Jahrtausenden, seit der beobachtende und forschende Menschengeist die Lebensäußerungen des tierischen und menschlichen Organismus in ihren Zusammenhängen zu erfassen suchte, hatte auch immer wieder das Bedürfnis bestanden, irgendwie Licht hineinzubringen in den geheimnisvollen Zusammenhang zwischen der Atmung und dem Leben. Lange Zeit hatte man nur sehr unbestimmte Vorstellungen. Nach der Meinung der Ärzte vor Galen bestand das Wesen der Atmung darin, daß die eingeatmete Luft den Körper abkühlen muß, damit die im Herzen erzeugte Wärme nicht den ganzen Körper verzehren kann. Galen (129–200) selbst ist nur in seinen Kenntnissen über die Atemmechanik seinen Vorgängern überlegen. Er hat bei Tierversuchen die anatomischen Grundlagen dazu gewonnen. So erkannte er die Bedeutung der Intercostalmuskeln und des Zwerchfells. Er wußte, daß die Lunge passiv den Bewegungen des Brustkorbes folgt, und er unterschied einen Brust- und einen Bauchatemtypus. Dort, wo er grundsätzliche Fragen der Atmung diskutierte, erging sich Galen in weitschweifigen Spekulationen und kam deshalb auch nicht weit über die früheren Schulen hinaus.

Wie seine übrigen Lehren, so blieben auch die Ansichten Galens über die Atmung ein unverrückbares Dogma im Mittelalter und in der Renaissance. Leonardo da Vinci (1452–1519) macht hier eine Ausnahme und greift den Kenntnissen seiner Zeitgenossen weit voraus. Neben wertvollen Notizen über die Atemmechanik zeugt vor allem folgender Satz von einem tiefen Einblick in das Wesen der Atmung: «Wo die Flamme nicht lebt, lebt kein Wesen, das atmet.»

Mit der Entdeckung des Blutkreislaufes kam das ganze geniale und in seiner Geschlossenheit imponierende Lehrgebäude des Galen ins Wanken. Zu viele der neuen Forschungsergebnisse standen in offensichtlichem Gegensatz zum bisher Gelehrten. Dies war auch bei der Atemphysiologie der Fall. Harvey (1578–1657) selbst wies im Vorwort seiner «Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus» (1628) auf die Unhaltbarkeit einzelner Teile der bisherigen Atemlehre hin. Ihm war klar geworden, daß die Arterien keine Luft führten und die Arteria pulmonalis nicht allein der Ernährung der Lunge dienen konnte. Was ehemals in der Medizin unantastbar und heilig war, war zusammengebrochen. Auf dem Trümmerfelde versuchten nun im 17. Jahrhundert verschiedene medizinische Schulen neu aufzubauen, die vielen neuen Erkenntnisse zu ordnen und unter einem einheitlichen Gesichtspunkte zu sehen. Sie erforschten auch das Gebiet der Atemphysiologie nach ganz neuen Gesichtspunkten. Beginnen wir mit der Iatrophysik und ihrem radikalsten Vertreter Alfonso Borelli. Er nahm auch die Atmung von mathematischen und physikalischen Gesetzen aus in Angriff. Kein Wunder, daß vor allem Fragen der Atemmechanik das Ziel seiner Forschungen waren. Er analysierte sorgfältig die Wirkung der Intercostalmuskulatur in ihren verschiedenen Komponenten. Er berechnete das Thoraxvolumen und maß die Luftmenge, die bei jeder Inspiration aufgenommen wird. Über die Beziehungen zwischen dem Blut und der Luft äußert sich Borelli folgendermaßen: Die einzelnen Luftteilchen werden durch die Atmung mit dem Blut vermischt. Darin vibrieren sie und setzen es in Schwingungen. Dieser «*Motus oscillatorius vitalis*» ist für die Erhaltung des Lebens von außerordentlicher Bedeutung. Giorgio Baglivi, der berühmte Schüler Malpighis, mit dem die Iatromechanik in Italien einen Höhepunkt erreichte, hat der Elastizität der Luft zu große Bedeutung zugemessen und sie als Ursache der Lungendilatation und des Eintrittes der Luft ins Blut angesehen.

Die letzten Fragen nach dem Wesen der Atmung zu beantworten, war freilich den Iatrophysikern nicht vergönnt. Nur eine sorgfältige Untersuchung der Luft als Lebensstoff konnte weiterhelfen. An diese Aufgabe haben sich zuerst die Iatrochemiker gemacht. Franciscus de le Boë, genannt Sylvius, ihr bedeutendster Vertreter, sah den Nutzen der Luft für das Leben darin, daß diese mit dem in ihr enthaltenen «nitrösen Salz» die Gärung im Herzen mäßigt.

Seiner Meinung nach kommt es nämlich im rechten Herzen zu einem Aufkochen, wenn Galle und Lymphe auf das Blut einwirken. Die dabei entstehende Hitze muß nun eben die Luft mit ihrem «reinen Salz», dem Salpeter, mildern. Diese Theorie vertritt Sylvius in seiner Abhandlung «De respiratione usuque pulmonum» (Leyden 1660). Ein Jahr nach dem Erscheinen dieser Schrift berichtete übrigens Marcello Malpighi (1628–1694) seinem Freunde Borelli in zwei unscheinbaren Briefen von seiner Beobachtung, daß «die ganze Masse der Lungen» aus vielen bienenwabenartigen Bläschen zusammengesetzt sei, die alle mit der Trachea in Verbindung stünden. Mit diesen stehe ein reich verzweigtes Netz von Blutgefäßen in engster Beziehung.

Die späteren großen Iatrochemiker haben der Lehre von der Atmung nichts Wesentliches Neues beigefügt. Sie wurde erst wieder entscheidend gefördert, als die reine Form der Naturwissenschaft sich ihrer annahm. Diese war vertreten durch Männer, die nicht mehr versuchten, Lücken und Mängel in der Reihe ihrer Forschungsergebnisse durch phantasievolle Hypothesen zu übertünchen. An erster Stelle ist hier Robert Boyle (1626–1691) zu nennen. Er hat eine große Zahl richtiger Beobachtungen über die Atmung gemacht. Für die spätere Zeit am wichtigsten war sein Nachweis der Elastizität der Luft. Bemerkenswert ist auch seine Vorstellung vom Leben als einer langsam brennenden Flamme, die durch einen nitrösen salzigen Bestandteil der Luft unterhalten wird.

Der Wahrheit kam der junge englische Jurist und Naturforscher John Mayow (1645–1679) außerordentlich nahe. In seiner ersten Monographie, dem «Tractatus de respiratione», berichtet er von seinen Erkenntnissen: In der Luft ist ein eigentümlicher Bestandteil vorhanden, der sich auch im Salpeter findet und für die rasche Verbrennung des Schießpulvers verantwortlich ist. Dieser «Spiritus nitroaëreus» wird bei jeder Verbrennung und auch bei der Atmung im tierischen Organismus verbraucht. Seine Verbindung mit den verbrennbaren Teilen des Blutes erzeugt dessen Wärme und die tierische Bewegung. Leider wurde das Werk dieses jungverstorbenen Forschers, der so tiefe Einblicke in den animalischen Stoffwechsel getan hatte, vergessen oder falsch verstanden. Erst hundert Jahre später gelang es Lavoisier, die gleichen Wahrheiten wiederzufinden.

Nachdem wir nun die wichtigsten Stationen in der Entwicklung der Atemphysiologie bis ans Ende des 17. Jahrhunderts kurz kennengelernt haben, wollen wir in einer knappen Übersicht den Inhalt von Daniel Bernoullis Dissertation an uns vorbeiziehen lassen.

Ohne sich lange mit anatomischen Beschreibungen und Definitionen aufzuhalten, beginnt Bernoulli sofort mit der Schilderung des Atmungsvorganges. Bei der Inspiration erweitert sich der Thoraxraum sowohl durch die Kontraktion und das Tiefertreten des Zwerchfells als auch durch das Heben

der Rippen. Die Luft tritt wegen ihrer Elastizität in die Lungen ein und entfaltet sie¹.

Diese allein ist nach Bernoullis Meinung für das Einströmen verantwortlich. Mit dem «Circulus Swammerdamius» geht er anschließend scharf ins Gericht².

In der Expiration treten die Rippen durch das Erschlaffen der Intercostalmuskeln tiefer. Das Zwerchfell wird durch die Bauchmuskeln und die Eingeweide hochgedrängt. Dadurch wird die Lunge allseits eingeeengt, und der Luft bleibt nichts anderes übrig als auszuströmen. Bei diesen Vorgängen sind gar keine muskulären Kräfte tätig. Die innere und die äußere Intercostalmuskulatur wirken nur inspiratorisch³.

Die Expiration ist also ein vorwiegend passiver Vorgang. Die Schwerkraft allein kann zwar nicht für das Tiefortreten der Rippen verantwortlich sein,

¹ Hier mißt Bernoulli der Elastizität der Luft eine zu große Bedeutung zu. Allerdings sind seine Ansichten hier etwas unklar. Wie er selbst an einer Stelle schreibt, ist es für ihn nicht abgeklärt, ob die Pleuraspalte Luft enthält oder nicht. So kann er auch nicht annehmen, daß die Lunge passiv erweitert wird, wenn der Thoraxraum sich weitet. Die Entfaltung der Lunge schreibt er deswegen der Elastizität der Luft zu. Welche Widerstände dabei für diese zu überwinden sind, gibt er verschieden an. Einmal redet er von elastischen Fasern des Lungengewebes, die beachtlichen Widerstand leisten. Ein andermal schreibt er, das Lungengewebe leiste praktisch keinen Widerstand, sondern weiche beinahe freiwillig der einströmenden Luft aus, ungefähr so wie ein leichtes Schilfrohr, das vom Nordwind bewegt wird.

Die Elastizität der Luft spielt für ihn auch eine Rolle bei seiner Erklärung des ersten Atemzuges des Neugeborenen. Er stellt sich die Sache folgendermaßen vor: Beim Neugeborenen findet sich zwischen Brustraum und Lunge ein leerer Hohlraum. Sobald das Kind geboren ist, strömt die umgebende Luft kraft ihrer Elastizität in die Lungen ein, und dadurch entfalten sich diese in den leeren Brustraum hinein. Sobald das Lungengewebe dergestalt erweitert ist, werden auch die darin enthaltenen Blutgefäße durchgängig. Das Blut strömt mit Macht durch die Pulmonalarterien in die Lungen, übt einen plötzlichen und ungewohnten Druck auf die Lungennerven aus und reizt sie. Zugleich werden dadurch auch die Nerven zu den Intercostalmuskeln und zum Zwerchfell gereizt, die mit den ersterwähnten in engem Zusammenhang stehen. Jetzt gelangen die Spiritus animales zu den Intercostalmuskeln und zum Zwerchfell, und diese kontrahieren sich. So kommt das erste Heben der Rippen und Abflachen des Zwerchfells zustande, und der erste Atemzug wird getan.

² Der Holländer Jan Swammerdam (1637–1680) ist vor allem als Entomologe berühmt geworden. Er war aber Arzt und hat als solcher die Physiologie um einige originelle Beiträge bereichert. So hat er in seiner Inauguraldissertation eine Atemtheorie aufgestellt. Er hat dabei einen Gedanken von Descartes weiter ausgebaut und mit Experimenten untermauert. Er nahm an, durch den Druck des sich bei der Inspiration erweiternden Brustkorbes werde eine der Erweiterung entsprechende Luftmenge in die Lunge gepreßt. Er muß sich die Luft als eine allseits abgeschlossene Substanz von der Art einer Flüssigkeit vorgestellt haben. Diese Theorie nennt Bernoulli den «Circulus Swammerdamius». Haller spricht vom «Circulus Cartesii».

Bei der Besprechung dieses Circulus in seiner Dissertation weist Bernoulli auf die große Komprimierbarkeit der Luft hin. Er ist davon überzeugt, daß der Widerstand des Lungengewebes gegenüber der einströmenden Luft ungleich viel größer sei als derjenige der Atmosphäre gegenüber der kaum spürbaren Kompression. Mit Recht bemerkt er auch, daß es unmöglich wäre, aus einem geschlossenen Gefäß Luft einzuatmen, wenn die Theorie von Swammerdam, die anscheinend ziemlich viele Anhänger hatte, wirklich stimmte.

³ Borelli vertrat die Ansicht, daß beide Gruppen der Intercostalmuskeln inspiratorisch tätig seien. Von ihm hat sie Bernoulli wahrscheinlich übernommen. Zur Begründung gibt Bernoulli an, daß beide Muskelgruppen von den gleichen Nerven versorgt würden und deshalb zur gleichen Zeit durch die Spiritus animales zur Kontraktion gereizt würden.

sonst wäre das Atmen einem, der auf dem Kopf steht, ganz unmöglich. Bernoulli nimmt an, daß sich in der Haut zirkulär um den Thorax herum elastische Fasern befinden. Diese werden bei der Inspiration gedehnt und suchen dann in der Expiration wieder ihre Ruhelage einzunehmen¹. Weiterhin wird nach seiner Meinung das Brustbein beim Einatmen nach innen gebogen. Die dabei entstehenden Spanningskräfte bringen es, wenn die Muskelspannung aufhört, wieder in die Ausgangsstellung zurück. Aus diesen beiden Komponenten setzt sich die Kraft zusammen, die den Thoraxraum bei der Expiration verkleinert.

Den Abschluß dieses ersten Kapitels, das sich vorwiegend mit Fragen der Atemmechanik befaßt, bildet die Darstellung einer Methode der Volumometrie. Diesem Teilgebiete, an dessen Anfängen wir hier stehen, sei am Schluß noch eine gesonderte kleine Betrachtung gewidmet.

Was geschieht mit der eingeatmeten Luft? Das ist die Frage, die Bernoulli im zweiten Kapitel zu beantworten sucht. Er ist davon überzeugt, daß ein Teil dieser Luft ins Blut übertritt. Er stellt sich den Vorgang im einzelnen folgendermaßen vor: Der «feinste Teil» der Luft ist während der Inspiration in die Lungenbläschen gelangt. Von dieser Alveolarluft verlassen die feinsten Partikelchen die Lunge während des kurzen Expirationsstoßes nicht durch den Bronchialbaum, sondern sie werden durch kleinste Poren in die Blutgefäße getrieben, die rund um die Alveolen liegen. Diese Poren funktionieren als eine Art winzigster Ventile. Sie öffnen sich nur gegen die Blutgefäße hin, nicht aber in entgegengesetzter Richtung. Die ins Blut übertretenden Luftmengen sind so außerordentlich klein, daß ihr Verlust das Volumen der Ausatemungsluft kaum verringert. Somit sind das Volumen der Ausatemungsluft und dasjenige der Einatemungsluft praktisch gleich groß.

Andere Theorien, die ein Durchtreten der Luft in die Blutgefäße abstreiten, und die Bedeutung der Atmung allein in einer mechanischen Verfeinerung des Blutes beim Durchfluß durch die Lungen sehen wollen, lehnt er ab.

Im dritten Kapitel berichtet uns Bernoulli, wie er sich die Verwendung der ins Blut gelangten Luft im Organismus vorstellt. Fest steht für ihn, daß sie zur Lebenserhaltung unbedingt notwendig ist. Zuerst verfolgt er ihren weiteren Weg im Organismus. In den feinen Pulmonalgefäßen vermischt sie sich innig mit dem Blut und gelangt dabei in die innersten Poren der Blutkugeln. Durch die im Kreislauf wirksamen Druckkräfte werden die Blutkugeln und mit ihnen die Luftpartikelchen komprimiert. Die elastische Kraft der letzteren nimmt immer mehr zu. Schlußendlich gelangt das Blut in die Muskelfasern. Darunter haben wir uns kleine Hohlzylinder vorzustellen, die durch transversale Fibrillen in kleine Bläschen unterteilt sind, von denen aber alle miteinander in

¹ Diese Ansicht von den zirkulären elastischen Fasern in der Haut des Brustkorbes stammt von Bernoulli selbst. Haller zitiert sie in seinen «Elementa physiologiae» (Tom. III, p. 277).

Verbindung stehen. Auf das Blut, das ruhig und gleichmäßig durch die Fasern fließt, prallen die «*Spiritus animales*»¹, die durch die Nerven zu den Muskelfasern gelangen. Sie besitzen Keil- oder Pyramidenform. So können sie sich in die Poren der Blutkügelchen hineinzwängen und sie auseinandersprengen. Die darin gefangene Luft wird freigesetzt, dehnt sich aus und unternimmt einen Angriff auf die seitlichen Wände der Muskelfaser. Dadurch wird diese aufgebläht und verkürzt. So kommt die Muskelkontraktion zustande. Nach dem Anprall auf die Wände löst sich die Luft sogleich in einen Hauch auf und verfliegt durch die Poren des Gewebes. Soll die Schwellung und Kontraktion des Muskels einige Zeit andauern, so ist stets Nachschub von *Spiritus* und neuem Blut notwendig².

Somit ist der Hauptzweck der Atmung für Bernoulli klar, und er faßt nochmals mit folgenden Worten zusammen:

Respiratio nempe suppeditat aerem subtilissimum, qui sanguini intime permistus valide, ad fibras motrices latus atque ope spirituum animalium sui iuris factus, muscularesque membranas inflat, contrahit, movet, atque hinc dependentem circulationem humorum promovet omnibusque corporis partibus mobilibus motum impertit.

Die Atmung liefert die feine Luft nach. Diese wird mit dem Blut eng vermischt, dann gelangt sie zu den Muskelfasern, kommt mit Hilfe der *Spiritus* zur Wirkung, bläht die Muskelmembranen auf, kontrahiert und bewegt sie. Sie fördert die Zirkulation der Körpersäfte, die davon abhängt, und schenkt allen beweglichen Körperteilen Bewegung.

Bernoulli führt hier noch einige Beobachtungen an, die seine Theorie stützen: 1. Beim Unterbinden der zuführenden Arterie geht die Beweglichkeit eines Muskels verloren. 2. Bei anstrengender Körperbewegung atmen wir schneller und tiefer als im Schlaf, es ist also mehr Luft nötig. 3. Wenn wir verdünnte Luft einatmen, führt dies zu großer Schwäche.

Abschließend weist Bernoulli auf eine wichtige Nebenfunktion der Atmung hin. Sie garantiert die Blutzirkulation in der Lunge. Ist diese nämlich luftleer, so sind auch die Gefäße nicht mehr durchgängig und es muß zu einer unheilvollen Blutstauung in den Lungen kommen.

Das letzte Kapitel wendet sich einigen Einzelproblemen zu, die mit der Atmung in unmittelbarem Zusammenhang stehen. Es sind vor allem medizinisch-mathematische Aufgaben, die da gelöst werden. Gewiß haben sie zu jener Zeit das Herz jedes Iatrophysikers höher schlagen lassen. Heute will es uns eher als spitzfindige, mathematische Spielerei erscheinen, wenn mit aller Genauigkeit der Winkel zwischen Rippen und Wirbelsäule errechnet wird, bei dem mit der geringsten Spannung der Intercostalfasern die größte Erweiterung des Brustraumes erreicht wird; oder wenn mit einer komplizierten mathema-

¹ Wir werden in einem späteren Kapitel noch mehr von diesem geheimnisvollen Stoff hören, den die Iatromechaniker zur Ingangsetzung der menschlichen Maschine nicht entbehren konnten.

² Hier hat Bernoulli, wie er deutlich schreibt, die Gedankengänge seines Vaters übernommen, die dieser in seiner Dissertation «*De motu musculorum*» entwickelt hat.

tischen Formel dargetan wird, in welchem Ausmaß sich die Atmung vermindert je nach der Größe von ein- oder doppelseitigen offenen Brustwunden.

Unser Gang durch Daniel Bernoullis Dissertation ist zu Ende. Es ist uns nicht schwer gefallen, uns darin zurecht zu finden und den Gedankengang zu erfassen. Die Darlegungen sind straff und in einzelne Kapitel und Paragraphen übersichtlich gegliedert. Dazu sind sie in einem flüssigen, leicht verständlichen und relativ guten Latein geschrieben. Bernoulli ist nicht der Ansicht, die Wissenschaftlichkeit demonstrierte sich am besten in einem möglichst komplizierten und mit hochtrabenden Phrasen geschmückten Stile. Sein Hauptanliegen ist es, die eigene Ansicht möglichst überzeugend darzustellen, die Argumente der Gegner zu entkräften und dem Leser auf alle Fragen und Zweifel, die ihm etwa auftauchen könnten, eine klare Antwort zu geben. Verblüffend einfach und bestechend sind oft die Argumente, mit denen der junge Autor eine gegnerische Behauptung abtut, oder eine seltene Erscheinung erklärt.

Dafür mögen zwei kurze Beispiele zeugen, die sich nicht in der Inhaltsübersicht finden. 1. Borelli hatte angenommen, das Neugeborene empfinde bei der Geburt einen Schmerz und dieser sei der Faktor, der die Atmung sofort nach der Geburt in Gang bringe. Hier fragt Bernoulli: Wie ist es dann überhaupt möglich, daß ein durch Kaiserschnitt entbundenes Kind zum Atmen kommt? Mit dieser Frage erledigt er ohne weiteres die Behauptung des von ihm sonst hoch verehrten Mannes. 2. Die Kunst der Taucher, sich einige Zeit, ohne zu atmen, unter Wasser aufhalten zu können, erklärt er damit, daß bei diesen offensichtlich das Foramen ovale und der Ductus arteriosus noch gut durchgängig seien, so daß der Blutkreislauf wie beim Kinde weiter garantiert sei, auch wenn die Lungen nicht durchlüftet werden und daher für das Blut nicht durchlässig sind.

Verblüffend und bestechend, das sind überhaupt die Prädikate, die wir den Experimenten, Untersuchungen und Überlegungen der Iatrophysiker zustehen müssen. Vieles, was sie erkannt und errechnet haben, war sicher richtig und besitzt auch heute noch Gültigkeit. Einer großen Zahl ihrer Erkenntnisse aber merkt man bei näherem Zusehen an, daß sie zu Hause am Schreibtisch mit Bleistift, Maßstab und Zirkel aus einem mathematischen Gesetz hergeleitet wurden, ohne daß an der Leiche oder am Tierexperiment die Grundlagen verifiziert wurden. Diese Kritik können wir auch Bernoulli nicht ersparen, besonders im vierten Kapitel, wo er sich den umfangreichen medizinisch-mathematischen Problemstellungen widmet.

Doch halten wir uns nicht zu lange bei den verschiedenen Anhängseln der Dissertation auf, sondern wenden wir unser Urteil dem Hauptinhalte zu, der von Bernoulli entwickelten Atemtheorie.

Zwei Männer haben auf Daniel Bernoullis Ansichten von der Atmung einen bestimmenden Einfluß ausgeübt: Alfonso Borelli und sein Vater Johann I.

Bernoulli. Sicher hat er das Unterkapitel «De motu respirationis» in Borellis Hauptwerk «De motu animalium», der Bibel jedes Iatrophysikers, sehr aufmerksam gelesen. Er hat dort gesehen, wie das Problem anzupacken war. Diesem seinem großen Lehrmeister gegenüber blieb er kritisch und unbefangen und hat an dessen Ansichten verbessert, was durch die Zeit überholt war oder was ihm persönlich falsch erschien. Von Borelli hat er die Überzeugung übernommen, daß bei der Atmung die feinsten Partikelchen der eingeatmeten Luft aus den Alveolen in die Blutgefäße der Lunge gelangen. Daneben kannte er aber auch die Schrift seines Vaters «De motu musculorum», worin dieser auf vollendete Weise mathematische und physikalische Prinzipien dazu verwendete, die Muskelkontraktion zu erklären. Dabei spielt die Luft eine entscheidende Rolle. Feinste Luftteilchen sind eingepreßt in die Poren der Blutkügelchen und gelangen in die Muskelfasern hinein. Dort werden sie mechanisch von den Spiritus aus ihrem Gefängnis befreit, blähen die Muskelfaser auf und verpuffen dann durch die Poren des Gewebes. Wenn man diese Theorie hört, so steigt unwillkürlich die Frage auf: Woher wird die Luft nachgeliefert, die bei jeder Muskelkontraktion verbraucht wird? Johann Bernoulli hat darauf keine Antwort gegeben. Der junge Doktorand hat die Lösung gefunden: Die feinen Luftpartikelchen, die bei der Atmung ins Blut gelangten, lieferten die Energie zur Muskelkontraktion. Damit war wieder eine Lücke geschlossen. Es war gleichsam wieder ein Zahnrädchen in die «Maschine Mensch» eingebaut, das zwei der wichtigsten Funktionen des Organismus in unmittelbaren Zusammenhang miteinander brachte, Atmung und Muskelkontraktion.

Wir dürfen bei der Beurteilung von Bernoullis Atemtheorie nicht dem Fehler verfallen, das gesamte Wissen jener Zeit um das Wesen der Atmung dagegen auszuspielen. Wir können von ihm nicht erwarten, daß er ähnlich tiefe Einblicke in das Stoffwechselgeschehen haben konnte wie John Mayow mit seinem «Nitrum Aëris». Chemische Vorstellungen waren ihm eben ganz und gar fremd. Nach einem lebensnotwendigen Stoff in der Luft fragte er nie. Diese wirkte seiner Meinung nach nur kraft ihrer physikalischen Eigenschaften. Wir müssen zugeben, die Atemtheorie, die hier entwickelt wird, ist von imponierender Geschlossenheit, wie sie bei keinem anderen Iatrophysiker zu finden ist. Keiner hat so einfach und klar die Zusammenhänge zwischen der Atmung und der Bewegung der Muskulatur herausgearbeitet, keiner der physikalisch orientierten Ärzte vermochte so einfach zu erklären, weshalb bei starker körperlicher Betätigung die Atmung beschleunigt wird. Noch bessere Erklärungen des ganzen Vorgangs finden sich lediglich bei Mayow. Das meiste, was Bernoulli die Luft auf dem Wege von der Lunge in die Muskelfasern erleben läßt, ist zwar reine Hypothese und durch keine Experimente gestützt. Doch können wir dem jungen Gelehrten die Bewunderung nicht versagen für die Klarheit und Kon-

sequenz, mit der er schon Bestehendes neu durchdacht und seine Schlüsse daraus gezogen hat.

Zum Abschluß dieser Betrachtung über die Atemphysiologie sei uns noch gestattet, die erste Entwicklung eines kleinen Teilgebietes zu skizzieren, die in jener Zeit begonnen hat.

Die ersten Versuche der Volumetrie der eingeatmeten Luftmenge

Wohl als erster hat der italienische Biologe Borelli in einem Selbstversuch die Menge der in die Lunge eingeatmeten Luft gemessen. Er saugte mit dem Mund so viel Luft aus einem dünnen Glasrohr heraus, wie er in einer normalen Inspiration einzuatmen pflegte. Das Glasrohr stand mit seinem untern Ende in Seifenlösung. Diese wurde natürlich bei dem erwähnten Vorgehen in das Rohr hinein aspiriert. Borelli maß nun den Raum, den die Seifenlösung in dem Rohre nach der Inspiration einnahm. Seiner Meinung nach entsprach er dem Volumen der eingeatmeten Luft. Mit dieser Methode gemessen, waren es rund 15 «*digiti cubici*» (ungefähr 100 cm³) Luft, die mit jedem Atemzug in die Lunge gelangten.

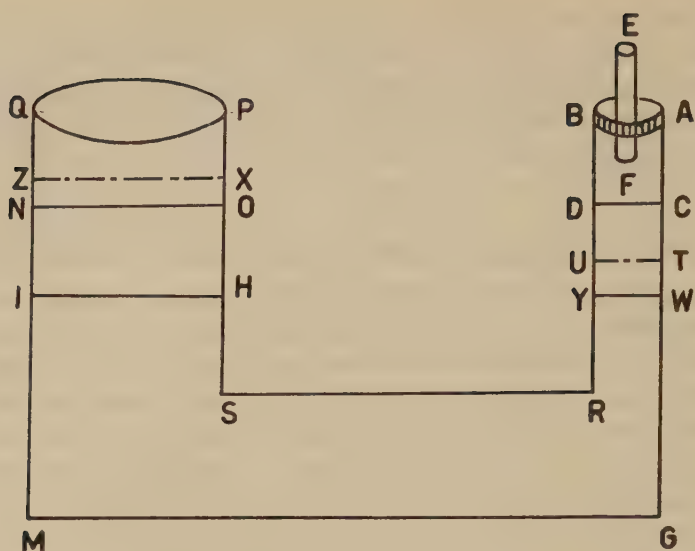
Um die Verbesserung dieser von Borelli eingeführten Methode hatte sich ein Engländer bemüht, James Jurin (1671–1721), ebenfalls ein Vertreter der iatromathematischen Richtung. Er blies die Expirationsluft in eine Blase. Den Raum, den die Luft einnahm, füllte er nachträglich mit Wasser. Das Volumen dieses Wassers und damit auch dasjenige der expirierten Luft betrug so gemessen bei einer starken Expiration 125–220 «*pollices cubici*» (1–2 Liter).

Auch Bernoulli gibt uns in seiner Dissertation eine Methode an, um die Menge der Atemluft zu messen. Lesen wir seine Angaben im 7. Paragraphen des 1. Kapitels. An dieser Stelle schreibt er (vgl. die Abbildung S. 38):

«Wenn jemand gerne das Quantum der Inspirationsluft bestimmen möchte, so kann er das auf viele Arten tun. Mit Hilfe folgenden Experimentes wird er sein Ziel sehr leicht erreichen.

Man nimmt einen gebogenen Tubus mit dem Umfang AGMQPSRB. In die Öffnung AB, die viel enger ist als diejenige bei QP steckt man ein kleines Röhrchen EF. Die Zwischenräume zwischen BA und EF verschließt man sorgsam mit Wachs. Schließlich füllt man noch Wasser ein durch die Öffnung QP, bis dieses die Höhe CDON erreicht. Darauf schöpft man in einer Inspiration Luft, hält sich die Nase zu, bringt den Mund an die Öffnung E und bläst alle Luft in den Raum ABCD. Nach der Expiration hält man den Finger auf die Öffnung E. Jetzt sieht man, daß das Wasser im Teil ABRG gesunken ist bis auf die Höhe UT, im andern Schenkel aber angestiegen ist bis auf die Höhe ZX. Die im Raum ABUT enthaltene Luft ist aber merklich dichter als im natürlichen Zustand. Damit sie wieder die natürliche Dichte zurückerhält, müssen wir einen Teil des Wassers aus dem Schenkel QPMS ausschütten, bis das Wasser auf beiden Seiten sich auf der gleichen Höhe WYHI einstellt. Dann gibt der Raum CDYW die Menge der Luft an, die in einer Inspiration aufgenommen wurde.»

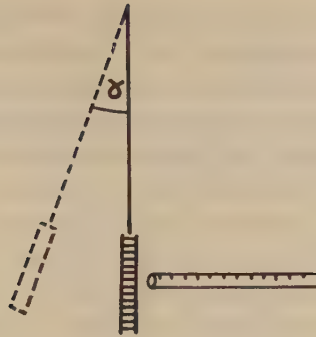
So weit die Worte von Bernoulli. Seine Methode erinnert an das spätere Spirometer. Sicher war dieser «Apparat» nicht sehr praktisch. Aber wir können uns doch denken, daß damit recht ordentliche und genaue Werte zu erreichen waren. Leider berichtet uns Bernoulli an dieser Stelle nichts von den Resul-



taten der Messungen, die er mit diesem Instrument angestellt hat. Vielleicht hat er selber sein Instrument nie ausprobiert, und es ist als guter Gedanke auf dem Papier geblieben. Vielleicht wurden aber mit diesem Instrument die Werte gewonnen, die Bernoulli später als Professor der Anatomie und Physiologie seinen Studenten vermittelt hat. Einer seiner Schüler, Joh. Rudolf Stähelin (1724–1800) berichtet uns nämlich in seiner Dissertation «De pulsibus», auf die wir in anderm Zusammenhang noch ausführlich zu sprechen kommen werden, daß Daniel Bernoulli in seinen Vorlesungen immer wieder darauf hingewiesen habe, daß der Mensch in einem Atemzuge 48 «*digiti cubici*» (ca. 750 cm³) und in vier Minuten ein seinem Körpervolumen (2 Kubikfuß = 77 Liter) entsprechendes Quantum einatme. Das sind recht gute Zahlen, die auch heute noch im großen und ganzen stimmen.

Der gleiche J. R. Stähelin gibt übrigens am Ende seiner Dissertation noch eine eigene Methode bekannt, das Atemvolumen zu messen, mit der er die gleichen Werte wie Daniel Bernoulli bekommen hat. Von ihr wollen wir zum Abschluß unseres kleinen Exkurses berichten.

Er bläst die Expirationsluft langsam durch ein dünnes Rohr auf eine kleine Holztafel, die als Pendel aufgehängt ist. Aus dem Kreisbogen, den das Pendel beschreibt, wenn die Expirationsluft darauf drückt, oder besser gesagt, aus dem Winkel, um den das Pendel während der Expiration gehoben wird, läßt sich die Geschwindigkeit des Luftstromes berechnen, da auch Gewicht und Länge des Pendels bestimmt sind. Die komplizierten mathematischen und physikalischen Überlegungen, die dazu führen, wollen wir hier nicht wiederholen. Das Resultat soll uns genügen: es beträgt 363 Fuß/Sek. Die Expiration dauert



nach Stähelins Messungen 2,7 Sekunden. Der Durchmesser des kleinen Blasrohres mißt 2 mm. Aus diesen drei Größen berechnet er nun die Luftsäule, die während einer Expiration aus seinem Munde entweicht. Deren Volumen beträgt rund 47 «*digiti cubici*».

Auf eine kritische Beleuchtung der erwähnten Methoden der Volumetrie sei hier verzichtet. Es ging uns vorwiegend darum, ein Übersichtsbild zu entwerfen vom damaligen Stand dieses Arbeitsgebietes und einmal ein «*Experiment*» von Daniel Bernoulli in allen Einzelheiten aufzuzeichnen.

Dieser Teil der Respirationsforschung wurde erst auf eine solide Grundlage gestellt, als die Luft schon in ihrer Zusammensetzung bekannt war, und John Hutchinson (1811–1861) im Jahre 1846 die Konstruktion seines Spirometers bekannt gab.

4. Versuch einer neuen Theorie der Muskelbewegung (*Tentamen novae de motu musculorum theoriae*)

Wohl nirgends lag die Versuchung näher, die Gesetze der Physik auf einen Vorgang im Organismus anzuwenden, als bei der den Eindruck des «*Mechanischen*» hervorrufenden Muskeltätigkeit. So war denn auch das Gebiet der Muskelphysiologie immer wieder eines der zentralen Probleme, dem die Schule der Iatrophysiker ihr Interesse zuwandte. Mit der Analyse der Muskelbewegungen und der Erforschung der geheimnisvollen Vorgänge bei der Kontraktion des Muskels haben sie erstmals auf einer streng wissenschaftlichen Basis begonnen und dabei außerordentlich Eindrucksvolles geleistet.

Bis weit ins 17. Jahrhundert hinein wußte man vom Muskel eigentlich nicht viel mehr, als daß er sich ausdehnen und zusammenziehen könne. Erst um die Mitte dieses Jahrhunderts wurden die morphologischen Grundlagen geschaffen, auf denen die Physiologie aufbauen konnte. Nikolaus Stenons (1638–1686) Untersuchungen ergaben das makroskopische Bild des Muskels, wie wir es

heute noch kennen. Er wies darauf hin, daß jeder Muskel von Nerven und Gefäßen versorgt werde. Gegenüber den Ansichten der Forscher, die noch um die Mitte des 17. Jahrhunderts die Sehnen und das interstitielle Bindegewebe für die Kontraktion verantwortlich gemacht hatten, machte er eindeutig klar, daß der fleischige Teil des Muskels das kontraktile Element sei. Überaus wichtig und von großem Einfluß auf die in der Folgezeit entstehenden Kontraktionstheorien war auch der Versuch Stenons, in dem er nachwies, daß nach einer Unterbindung der zuführenden Gefäße die Muskeltätigkeit bald erlahme. Nicht minder bedeutungsvoll für die Zukunft war ein Experiment Swammerdams. Dieser entdeckte, daß, wenn man einen Nerv ligiert und zentral von der Ligatur einen Reiz ausübt, keine Kontraktion des entsprechenden Muskels zustande kommt, während bei peripherer Reizung der Muskel sich zusammenzieht.

Die makroskopische Morphologie wurde gleichzeitig wertvoll ergänzt durch die Befunde, die man mit dem neu eingeführten Mikroskop erheben konnte. Jetzt erst wurde der Begriff der Muskelfaser zum Allgemeingut der Medizin. Antony van Leeuwenhoek (1632–1723), der alles Erdenkliche ohne Vorurteil und Spekulationen unter seinem Mikroskop beobachtete, stellte den Aufbau des Muskels aus makroskopisch und mikroskopisch sichtbaren Fasern fest und entdeckte 1680 als erster die Querstreifung der Muskelfaser, ohne dabei zu untersuchen, worauf diese beruhe.

Dies war das anatomische Rüstzeug, das den bedeutendsten Iatrophysikern bei der Bearbeitung der Muskelphysiologie zur Verfügung stand. Bevor wir uns ausführlich mit dem «Versuch einer neuen Theorie der Muskelbewegung (*Tentamen novae de motu musculorum theoriae*)» befassen, den Daniel Bernoulli im Jahre 1726 während seines Petersburger Aufenthaltes publizierte, seien die Theorien von Borelli und Johann Bernoulli kurz skizziert. Zwischen diesen beiden Anschauungen und Daniels «Versuch» besteht nämlich ein enger Zusammenhang, vor allem wegen der einheitlichen Auffassung der Morphologie der Muskelfaser. Überdies scheint uns, es sei von Borelli zu Daniel Bernoulli eine Entwicklung festzustellen, die im Grunde wenig erfreulich ist.

Im zweiten Band seines Werkes «*De motu animalium*» befaßt sich Alfonso Borelli unter anderm mit den Muskeln als den Geräten, deren sich die Seele bedient, um die Bewegung des Organismus auszulösen. Was Borelli hier unternimmt, ist, wie Boruttau sagt, «der erste wahrhaft wissenschaftliche Versuch einer allgemeinen Muskelphysiologie». Was uns hier interessiert, sind die Angaben, wie er sich die Vorgänge bei der Muskelkontraktion vorstellt. Er ist der Ansicht, daß für die Muskelkontraktion bestimmte Vorgänge in der Feinstruktur der Muskelfaser verantwortlich sind, die sich nach außen durch die Verkürzung und das Anschwellen des Muskels manifestieren. Im einzelnen stellt er sich den Vorgang folgendermaßen vor: Durch die voneinander unab-

hängigen Untersuchungen von Hooke und Swammerdam und durch eigene Beobachtungen unter dem Mikroskop ist er davon überzeugt, daß jede einzelne Muskelfaser sich aus einer Reihe von feinsten Bläschen aufbaue. Um die Gesetze der Mathematik und Physik besser anwenden zu können, nahm er als Arbeitshypothese an, diese Bläschen besäßen rhombische Gestalt. Die feinen



Muskelfibrillen bildeten nach seiner Meinung die Seitenwände dieser Rhomben. Die einzelnen Elemente stehen miteinander und mit dem Gefäßsystem in Verbindung, und in ihrem Innern fließt Blut. In die Muskelfasern münden die Nerven. Diese sind nicht hohle Röhren, sondern im Innern mit einem spongiösen Gewebe gefüllt, durch das der Träger der spezifischen Nervenfunktion, der «Succus nerveus» sickert. Es ist dies etwas Ähnliches wie das Pneuma des Aristoteles, eine geheimnisvolle Übermittlersubstanz zwischen Gehirn und Muskeln. Borelli vergleicht seinen «Succus nerveus» mit einer Flüssigkeit ähnlich dem Weingeist. Werden einige Partikel des Nervenfluidums auf Befehl des Willens in die Muskelfaser gedrückt, so stoßen sie dort auf das Blut, und es kommt zu einer explosiven «Fermentation» («*fermentatio et ebullitio similis eis, quae passim in chemicis observantur*»). Da die einzelnen Rhomben unelastisch sind, muß es beim Druck auf ihre Seitenwände zur Verkürzung kommen. Borelli hat instinktiv gesehen, wo die Grenzen der mechanischen Betrachtungsweise liegen. Er hat erkannt, daß die Verkürzung der einzelnen Faser und die Kräfte, die dabei wirksam sind, nur durch die Annahme einer chemischen Reaktion eine befriedigende Erklärung finden können. Die Vorstellung der Fermentation hat sich Borelli von den Iatrochemikern entliehen, denn auch in ihren Muskelkontraktionstheorien spielte diese Explosion beim Aufeinandertreffen des «Salzes des Nervensaftes» und der «Schwefel- oder Salpeterkomponente des Blutes» eine große Rolle. Wir sehen hier, daß gerade bei den bedeutendsten Vertretern der Iatrowissenschaften keine allzu scharfe Trennungslinie zwischen den beiden Richtungen gezogen werden darf.

Borellis Theorie verdient unsere Anerkennung. Sie mutet ganz modern an. Die Anordnung der Myosinmoleküle stellt man sich heute ganz ähnlich vor wie Borelli diejenige seiner Fibrillen. Grundsätzlich haben wir heute auch keine tiefern Kenntnisse über den Vorgang der Muskelkontraktion. Wir wissen

lediglich, daß dabei ein Nervenimpuls zu einer chemischen Umsetzung, zu einer Änderung der Feinstruktur und zu einem Spannungszustand in den kontraktiven Elementen führt.

Von ähnlichen Voraussetzungen ausgehend wie Borelli nahm Johann I Bernoulli das Problem der Muskelbewegung in seiner Dissertation «De motu musculorum» in Angriff. Er will allerdings von einer rhomboiden Gestalt der einzelnen Elemente der Muskelfaser nichts wissen. Für ihn ist diese eine Kette von ovalären Bläschen. Transversale Fibrillen durchflechten seiner Meinung nach die longitudinalen Fasern und unterteilen diese ursprünglich einheitlichen Zylinder in eben diese ovalären Bläschen. Diese stehen miteinander in Verbindung, und das Blut fließt durch die ganze Faser durch. Wenn sich der Muskel zusammenziehen soll, dann stürzen aus den Nervenendigungen die «Spiritus animales» – so heißt bei ihm die nervöse Überträgersubstanz – in die Faserräume, und beim Aufprall auf das Blut kommt es wie bei Borelli zu einer Fermentation. Hier verwendet nun Johann Bernoulli die Anschauungen, die er in seiner Schrift «De Effervescentia et Fermentatione» entwickelt hat. Dort hat er eine mechanische Erklärung des Fermentationsbegriffes zu geben versucht. Er unterscheidet nicht saure und alkalische Bestandteile als die beiden Wirkungskomponenten einer solchen Reaktion, sondern spricht von einem wirkenden Körper («corpus agens») und einem leidenden Körper («corpus patiens»). In die Winkel und Poren des leidenden Körpers dringen die Spitzen und Kanten des wirkenden Körpers, der Tetraeder- oder Keilgestalt aufweist, und sprengen diesen auf. Dabei wird die Luft frei, die in jedem festen Körper in äußerst komprimierter Form sich findet, dehnt sich plötzlich aus, und es kommt zu einem explosionsartigen Aufschäumen, eben zu einer Fermentation.

Ganz analoge Vorgänge finden nun bei jeder Bewegung in der Muskelfaser statt. Die Spiritus animales sind die «Corpora agentia». Wenn sie auf Befehl des Willens in die Muskelfaser eindringen, bohren sie sich sofort mit ihren Spitzen in die Poren der Blutkügelchen ein, sprengen sie auseinander und setzen die eingeschlossene Luft in Freiheit. Diese bläht die Bläschen auf, sie nehmen Kugelgestalt an, und dabei wird die Faser kürzer. Um die Kontraktion aufrecht zu erhalten, ist stets neuer Nachschub von Luft und Spiritus notwendig, denn die freigesetzte Luft entweicht sofort durch die Gewebeporen.

Wir sehen: Auch Johann Bernoulli gibt den Vorgang einer Fermentation nicht preis, aber er erklärt ihn rein mechanisch. Uns will scheinen, daß hier eine große Schwierigkeit für das Verständnis aufgetreten ist: Wie soll das immaterielle Prinzip der Seele oder des Willens solche Kräfte entwickeln und, auf die Spiritus übertragen, imstande sein, die Blutkörperchen aufzubrechen?

In England entwickelte James Keill ungefähr zur gleichen Zeit eine ähnliche Kontraktionstheorie wie Bernoulli. Einen Unterschied sehen wir allerdings, und der ist typisch für die englische Iatrophysik. Sie stand nämlich unter dem

Einfluß Newtons und befaßte sich mehr mit Gravitation und Elastizität als mit Messungen und Wägungen. So befreien bei Keill die Spiritus die in den Blutkörperchen eingepreßte Luft nicht durch ein mechanisches Aufsprengen, sondern durch die ihnen innewohnende «vis attractiva» im Sinne Newtons.

Johann Bernoullis Theorie sind wir hier nicht zum erstenmal begegnet. Wir lernten sie schon in seines Sohnes Dissertation «De respiratione» kennen. Dort war Daniel noch ein braver Anhänger von seines Vaters Lehre, und seine Darlegungen über die Atemphysiologie rundeten diese vorteilhaft ab. Um so größer ist unser Erstaunen, daß er kaum fünf Jahre später eine eigene neue Muskelkontraktionstheorie aufstellt. Der Vater war davon sicher nicht begeistert, denn nach seinen Äußerungen in Briefen war er von der Richtigkeit seiner Theorie sehr überzeugt. Wie ist nun Daniel vorgegangen?

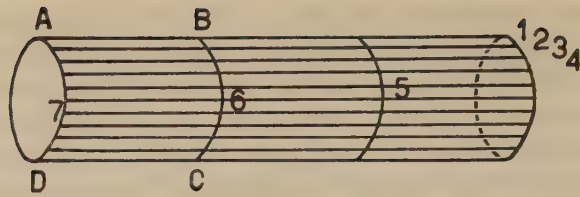
Zuerst bekennt er sich wie die meisten Physiologen seiner Zeit zur Auffassung, daß das Einströmen der Spiritus in die Muskelfaser deren Kontraktion bewirke. Denn über einen ligierten Nerven läßt sich eine Kontraktion nicht auslösen, weil durch die Ligatur das Fließen der Spiritus verhindert wird. Anschließend schildert er uns die anatomische Struktur der Muskelfaser, wie er sie aufgefaßt hat. Eine longitudinale Faser ist zusammengesetzt aus vielen einzelnen längsverlaufenden feinen Filamenten, die einen Hohlzylinder umschließen. Seitlich sind diese lose miteinander verbunden, in der Länge lassen sie sich nicht ausziehen. Im Hohlzylinder strömt das Blut. In bestimmten Abständen laufen quer über die longitudinalen Fasern die transversalen Fibrillen¹. Sie verbinden ein Filament mit dem andern und umschließen so die ganze Faser wie ein Ring. Die transversalen Fibrillen stellen nichts anderes als Nerven- ausläufer dar, denn sie sind angeblich von gleicher geweblicher Konsistenz wie die Nerven. Die ganze longitudinale Faser gliedert sich deshalb in viele kleine «Loculamente» – wie er sie nennt – die beidseits von transversalen Fibrillen begrenzt sind. Sie sind angefüllt mit Blut, also einer inkompressiblen Flüssigkeit, und können nicht in die Länge gedehnt werden.

Die Kontraktion der Muskelfaser erklärt sich Daniel Bernoulli folgendermaßen: Wenn die transversalen Fibrillen sich zusammenziehen, die Ringe um die Muskelfaser also enger werden, bekommen die einzelnen Räume (Loculamente) dazwischen die Form eines bauchigen Fasses. Deswegen verlieren sie an Länge. Das Weitere zitieren wir wörtlich nach Bernoulli:

Videtur iam tota quaestio eo reducta, ut indicetur modus, quo fibrillae transversae contrahuntur hunc vero ex ipso spirituum animalium influxu immediate deduco: Spiritus enim utcunque subtiles, spatium tamen occupant necesse est, pos-

Jetzt sehen wir, daß der ganze Fragenkomplex schon weitgehend eingeschränkt worden ist. Wir müssen nur noch die Art und Weise aufdecken, wie sich die transversalen Fibrillen kontrahieren. Dies leite ich unmittelbar vom Einfließen der

¹ Mikroskopisch lag diesem Bild der transversalen Fibrillen vielleicht die unrichtig gedeutete Querstreifung der Muskelfaser zugrunde.



Muskelfaser

1-4 longitudinale Filamente

5-7 transversale Fibrillen

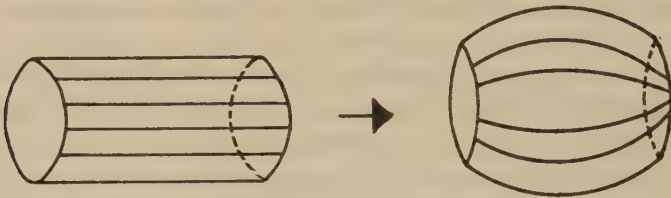
ABCD Loculament der Muskelfaser

sunt itaque minimas cavernulas fibrillarum transversalium replere, sicque aliqualem in hisce fibrillis contractionem producere; minima certe spirituum quantitas ad hoc negotium sufficiet: 1^{mo} quia exigua contractio requiritur, – ostendam enim deinceps parvulas in fibrillis transversalibus contractiones sat magnas producere posse in fibris longitudinalibus, si certae proportionones assumantur.

2^{do} quia cavernulae fibrillarum transversalium minimae sunt et plane non comparandae cum cavitatibus fibrarum longitudinalium.

animalischen Spiritus ab. Diese Spiritus, so fein sie auch sein mögen, benötigen doch einen gewissen Raum und können daher die äußerst kleinen Cavernen der transversalen Fibrillen füllen und so an diesen Fibrillen eine Kontraktion hervorrufen. Eine sehr geringe Menge der Spiritus genügt zu diesem Zweck, denn 1. ist nur eine sehr geringe Kontraktion nötig. – Ich werde später zeigen, daß eine sehr geringe Kontraktion der transversalen Fibrillen genügt, um an den longitudinalen Fasern eine große zu bewirken, wenn bestimmte Proportionen gewählt werden.

2. sind die Kavernen in den transversalen Fibrillen sehr klein und können mit den Hohlräumen in den longitudinalen Fasern nicht verglichen werden.



Was dafür verantwortlich ist, daß die Spiritus vom Anfang bis an die äußersten Enden der Nerven fließen, das heißt also in die Querfibrillen hinein, das überläßt er andern zur Abklärung. Den Rückfluß aber leitet er von der Elastizität der transversalen Fibrillen ab. Er formuliert den Zustand der Kontraktion deshalb folgendermaßen:

Sic dicendum est musculum in contractionis statu permanere, quamdiu aequilibrium adest inter illud prius motus principium quodcumque sit et conatum qui inest minimis fibrillarum transversalium particulis sese restituendi.

Der Muskel bleibt so lange im Zustande der Kontraktion, als ein Gleichgewicht besteht zwischen dem vorausgehenden Prinzip der Bewegung – was es auch sei – und dem Bestreben der kleinsten Partikelchen der transversalen Fibrillen, wieder in ihre Ausgangslage zurückzukehren.

Mit Hilfe dieser Vorstellungen läßt sich nach Bernoullis Meinung auch der häufig eintretende schnelle Wechsel zwischen Kontraktion und Erschlaffung sehr leicht erklären. Das Hin- und Zurückfließen der wenigen Tropfen Spiritus braucht außerordentlich wenig Zeit. Einen weiteren Vorteil seiner Erklärungsweise sieht er darin, daß hier keine Spiritus verbraucht werden, wie bei den Explosionstheorien, wo sie nach jeder Reaktion verfliegen. Bernoulli glaubt nicht, daß vom Organismus so viele Spiritus geliefert werden könnten, wie dort verlangt werden. Seine Spiritus fließen nach der Kontraktion wieder in die Nerven zurück und stehen dort weiter zur Verfügung.

Eine wichtige Frage, die Bernoulli noch beantworten muß, ist die: Kann der Muskel auf die beschriebene Weise sich merklich verkürzen, wie wir es in der Natur beobachten können? In ausgedehnten, komplizierten Berechnungen am Schluß seiner Arbeit kommt er zu dem Resultat, daß, wenn seine Annahmen richtig sind und in den Strukturen der Fasern gewisse Proportionen gelten, ein Muskel sich höchstens um einen Fünftel seiner Länge zusammenziehen kann. Er hat das Glück, daß dieses Resultat durch ein Experiment an einem lebenden Muskel bestätigt wird. Mit Hilfe einer einfachen Versuchsanordnung und den Gesetzen der Trigonometrie fand er nämlich heraus, daß die horizontal wirkenden «*Musculi recti*» am Auge sich höchstens um einen Fünftel kontrahieren können.

Der Vollständigkeit halber sei hier kurz erwähnt, daß in Holland ein Schüler Boerhaaves 20 Jahre später zum Verwechseln ähnliche Ansichten über die Muskelbewegung veröffentlicht hat. Es war der Vitalist und Hippokratesinterpret Johann de Gorter (1689–1762). In seinem «*Medicinae compendium*» (1749) nahm er gleich wie Bernoulli an, daß Muskel und Nerven sich gegenseitig mechanisch in ihrer Struktur beeinflussen. Bei einem Vertreter des Vitalismus erstaunt uns diese ganz mechanische Kontraktionstheorie. Er kannte allerdings noch ein von den Spiritus unabhängiges Bewegungsprinzip in den peripheren Organen, dem er aber bei der Muskelbewegung keine Bedeutung beimaß.

Daniel Bernoullis «Versuch einer neuen Muskelbewegungstheorie» ist die konsequenteste mechanische Erklärung für diesen physiologischen Vorgang, die wir kennen. Chemische Vorstellungen haben absolut keinen Platz mehr darin. Der Begriff der Fermentation, den Borelli und J. Bernoulli noch brauchten, ist aus seinen Überlegungen verbannt. Wie schon in der Dissertation über die Atmung sind die Darlegungen klar und geschlossen. Es liegt wieder ein Musterbeispiel iatromechanischen Denkens und Schaffens vor uns mit all seinen Vorzügen und all seinem Versagen. Die große Schwäche, oder besser gesagt Lücke, in Daniel Bernoullis Theorie gesteht er eigentlich selbst schon ein, dort wo er sagt, er überlasse es andern zu entscheiden, wie die «*Spiritus animales*» in den Nerven bewegt würden. Borellis Ansicht von den

Spiritus animales als der chemischen Auslösersubstanz für die Muskelbewegung ließ man sich noch gefallen. Woher aber sollte dieser geheimnisvolle Stoff, den noch nie jemand gesehen hatte, die beträchtlichen physikalischen Kräfte herhaben, die es nach Daniel Bernoullis Theorie brauchte, um die Muskelkontraktion zustande zu bringen und aufrecht zu erhalten, ohne daß sie von einem Prinzip der Bewegung im Muskel selbst unterstützt wurden. Der Begriff der Irritabilität der Muskelfaser, den Albrecht von Haller 25 Jahre später in das Zentrum der wissenschaftlichen Diskussion gestellt hat, war ihm wie den meisten Iatrophysikern ganz fremd.

Bernoulli hat zwar den rechten Weg beschritten, als er das Resultat seiner theoretischen Spekulationen durch ein Experiment am lebenden Organismus zu verifizieren suchte. Rein zufällig konnte der untersuchte Muskel sich nur um einen Fünftel seiner Länge zusammenziehen. Das schien ihm eine glänzende Bestätigung seiner theoretischen Ergebnisse. Hätte er aber weitere experimentelle Erfahrungen zu sammeln versucht, so wäre ihm sicher aufgefallen, daß ein Muskel bei der Kontraktion sich bis auf die Hälfte seiner Länge verkürzen kann. Er hätte es erlebt, daß seine Theorie an der Erfahrung wie ein Kartenhaus zusammengebrochen wäre.

Wir sehen hier übrigens auch, welch unzuverlässiges Hilfsmittel in jener Zeit das Mikroskop war, oder vielleicht besser ausgedrückt, wie unzuverlässige Mikroskopierer die Iatrophysiker waren. Man hat oftmals das Gefühl, sie hätten durch die vergrößernden Linsen im Gewebe geometrische Figuren und mathematische Formeln gesehen. Wer von ihnen hat wohl die Hohlzylinderform der Muskelfaser und die transversalen Fibrillen auch wirklich gesehen, von denen sie immer wieder behaupten, sie seien im mikroskopischen Bild zu finden.

Um zu einem abschließenden Urteil über Daniels «Versuch einer neuen Muskelbewegungstheorie» zu kommen, müssen wir sagen, daß mechanische und geometrische Probleme darin originell und scharfsinnig gelöst wurden, daß der physiologische Vorgang aber, der dahinter steht, unserm Verständnis nicht näher gebracht wurde.

5. Ein Versuch am Sehnerv (Experimentum circa nervum opticum)

Im Jahre 1668 erhielt die Royal Society in London Bericht von einer aufsehen-erregenden Entdeckung auf dem Gebiete der Sinnesphysiologie. Der französische Physiker Edme Mariotte (1620–1684) hatte erkannt, daß die Eintrittsstelle des Nervus opticus in den Bulbus oculi für Lichtstrahlen unempfindlich, also blind ist. Der große Physiker hatte sich immer sehr für den Sehvorgang interessiert. Bei der Zergliederung von Tieraugen war ihm aufgefallen, daß die

Eintrittsstelle des Sehnerven nicht der Pupille gegenüberlag. Nun wollte er wissen, in welcher Art das Sehen an dieser Stelle des Augenhintergrundes erfolge. Mit folgender Versuchsanordnung entdeckte er dann die überraschende Tatsache, daß diese Stelle blind sei:

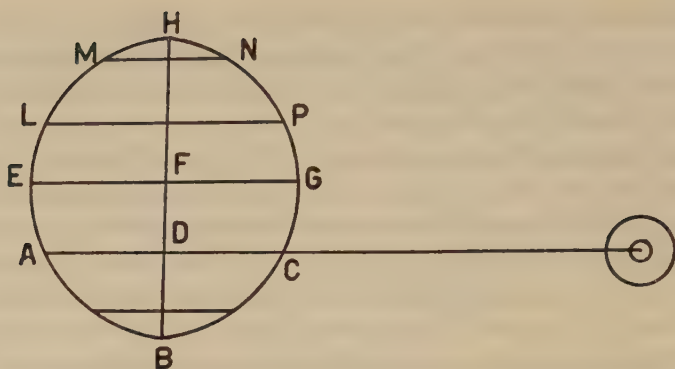
Auf einer dunklen Wand wurde ein weißes Papierblättchen von fünf oder sechs Zoll Durchmesser befestigt. Links davon brachte man an der gleichen Wand in zwei Fuß Abstand, aber etwas höher als das erste, ein zweites ganz kleines Papierstück an. Der Beobachter schloß sein linkes Auge, fixierte mit dem rechten das zweite kleine Papierstück und entfernte sich rückwärts von der dunklen Wand. In einem Abstand von 9–10 Fuß verlor sich plötzlich das größere Papierblatt aus dem Gesichtsfeld, wenn er gut fixierte und den Kopf gerade hielt. In jeder andern Entfernung war es gut zu sehen. Mariotte erkannte sofort: In diesem Moment mußten die Lichtstrahlen, die vom größern Papier ausgingen, entsprechend den anatomischen Verhältnissen auf die Durchtrittsstelle des Opticus fallen. Diese mußte also für Licht unempfindlich sein.

Aus seiner Entdeckung zog Mariotte leider den Fehlschluß, daß die Aderhaut die sehende Gewebsschicht im Auge sein müsse, denn diese fehle an der Durchtrittsstelle des Opticus und nicht die Netzhaut.

Seit Kepler, Scheiner und Descartes war man fest davon überzeugt, daß die Netzhaut das eigentliche Sehorgan sei. Jetzt war diese als sicher geltende Anschauung plötzlich in Frage gestellt. Ein heißer Kampf für und wider die Chorioidea entbrannte. Mariotte verfocht zusammen mit einigen wenigen Anhängern mit viel Geschick seine Lehre. Pecquet, Perrault, de la Hire, um nur die bedeutendsten Namen unter seinen Gegnern zu nennen, waren nicht immer so glücklich im Streite. Wir können die Argumente, die von beiden Seiten vorgebracht wurden, nicht anführen. Mariottes Gegner konnten nur mühsam den Sieg erringen, und erst durch Albrecht Hallers Untersuchungen wurde es wieder zur unumstößlichen und allgemein anerkannten Tatsache, daß die Retina beim Sehvorgang die entscheidende Rolle spiele. Bevor man zur Zeit Hallers durch vertiefte histologische Einblicke erkennen konnte, daß die für Sinneseindrücke empfindliche Schicht der Retina an der Eintrittsstelle des Sehnerven fehlte, hatten die Gegner Mariottes angenommen, es sei ein Blutgefäßgeflecht für den blinden Fleck verantwortlich; denn an der Stelle dieses Geflechtes fehle die Netzhaut. Dieses Argument ließ sich leicht entkräften.

Einen Beitrag dazu hat Daniel Bernoulli geleistet in seinem «Experimentum circa nervum opticum». Er war davon überzeugt, daß diese Frage sich leicht entscheiden lasse, wenn man nur Gestalt, Größe und Lage des Gebietes kenne, das auf die Lichtstrahlen nicht anspricht. Mit folgendem Experiment konnte er die drei Größen bestimmen:

«Auf einen ebenen Boden legt man ein silbernes Geldstück. (Damit das Experiment besser gelingt, kann man an einer Stelle ein einige Fuß langes schwarzes Tuch ausbreiten.)



Man zieht die Gerade OA, nimmt darauf ein Pendel, bringt dessen eines Ende in die Nähe des rechten Auges, das andere Ende soll nicht ganz den Boden berühren. Nun schließt man das linke Auge und mit dem rechten blickt man immer genau auf das untere Ende des Pendels. Dann bewegt man sich nach und nach auf die linke Seite, wobei aber das Ende des Pendels immer ganz genau auf der Geraden OA bleibt. Währenddessen gibt man genau acht auf den Punkt, wo das Objekt O plötzlich ganz aus dem Gesichtsfeld verschwindet. Dies sei bei C der Fall. Dann bewegt man sich weiter und hält auch den Punkt A fest, wo man das Objekt O wieder sehen kann. Dann halbiert man die Strecke AC in D und zieht durch diesen Punkt die Senkrechte BH. Auf BH führt man das gleiche durch, wie vorher in OH und merkt sich sorgfältig die Punkte B und H. Bewegt sich das Pendel zwischen diesen beiden Punkten, dann verschwindet O aus dem Gesichtsfeld. Die Strecke BH schließlich wird in F durch die Senkrechte GE halbiert, und auf ihr werden unter den gleichen Bedingungen die Punkte E und G gesucht. Dasselbe geschieht auf den Linien LP, MN etc. Alle diese Punkte werden durch eine Linie HEBGH miteinander verbunden. Mit dieser Linie verhält es sich folgendermaßen: Solange das Auge einen Punkt innerhalb dieser Linie fixiert, sieht es nichts vom Gegenstand O. Wenn aber die Blickachse außerhalb dieser Linie auf den Boden fällt, so wird der Gegenstand wieder gesehen. Ich will nun noch sagen, was ich selber bei diesem Experiment für Ergebnisse gehabt habe: Alle diese Werte gelten bei einer Pendellänge von 100. Ich fand also: $OC = 23$, $AB = 10$, $BD = 3$, $DH = 13$ und $EG = 14$. Daraus folgt, daß diese Kurve einer Ellipse nahe kommt. Deren Mittelpunkt befindet sich in F und deren große und kleine Achse verhalten sich wie 8 zu 7. Nun bleibt noch herauszufinden, wie sich aus diesen Beobachtungen die Lage, Größe und Gestalt jenes zum Sehen untauglichen Fleckes ableiten lassen. Dies ist keine große Sache. Wenn man die Strecken AC, EG, LP, MN, HB etc. kennt, so kann man auch die analogen Strecken im Auge abgrenzen. Obgleich HB größer ist als EG, so werden doch die entsprechenden Strecken im Auge gleich groß, so daß die elliptische Figur in eine Kreisfigur sich umwandelt. Der Durchmesser jenes kleinen Kreises beträgt einen Siebentel des Durchmessers des ganzen Bulbus. Der Mittelpunkt liegt etwa $\frac{7}{25}$ des Bulbusdurchmessers von dem Punkte entfernt, der der Pupille gerade gegenüber liegt. Gleichzeitig liegt er etwas über der Mitte des Auges. Dies alles paßt für den Nervus opticus im menschlichen Auge so ausgezeichnet, daß die Ansicht von Mariotte in diesem Punkte nicht mehr angezweifelt werden kann.»

Daniel Bernoullis Methode zur Darstellung des blinden Flecks war für die damalige Zeit sehr originell und ein unbedingter Fortschritt. Albrecht Haller nennt sie in seinen «*Elementa physiologiae*» «*subtilior*»¹ als das sonst gebräuchliche Vorgehen, wo man sich immer noch mit den beiden hellen Papierchen an der dunklen Wand behalf. Mit Bernoullis Experiment war es möglich, die Gestalt des unempfindlichen Fleckes im Augenhintergrund aufzuzeichnen und

¹ Tom. V, Lib. XVI, p. 471.

von ihr ein recht genaues Bild zu bekommen, was bei den andern Methoden nur mühsam zu erreichen war. Wir können ruhig sagen, daß man damit auch imstande gewesen wäre, feinere pathologische Veränderungen des blinden Fleckes festzustellen, wenn sich das wissenschaftliche Interesse damals schon darauf gerichtet hätte. Größenordnungsmäßig sind alle Maße und Verhältniszahlen, die Bernoulli angibt, richtig. Allerdings sind die absoluten Werte durchwegs etwas zu hoch¹, was aber bei der im Vergleich zu den heutigen Methoden immer noch groben Versuchsanordnung nicht überrascht.

An diesem Beispiel sehen wir, daß Daniel Bernoullis ausgesprochene Begabung zum Experimentieren mit einfachsten Mitteln auch bei der Behandlung physiologischer Probleme außerordentlich fruchtbar werden konnte, wenn er von anatomisch gesicherten Grundlagen ausging.

6. Der Einfluß von Daniel Bernoullis «Hydrodynamik» auf die Fortschritte der Hämodynamik im 18. Jahrhundert

Im Jahre 1628 erfuhr die Welt aus einem kleinen Buche, betitelt «Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus», von der wichtigsten und folgenschwersten Entdeckung der Physiologie der neueren Zeit. Der Professor für Anatomie und Physiologie am «Royal College» in London, William Harvey, hatte endlich den Zauberschlüssel gefunden zum Verständnis zahlreicher, bisher unbegriffener Beobachtungen am Herzen, an den Arterien und Venen. Er konnte nachweisen, daß das Blut auf seinem Wege durch das Herz und die Gefäße «eine Bewegung wie im Kreise» vollführt. Der Bau des Herzens, der Herz- und Venenklappen und der großen Gefäßstämme war grob anatomisch schon seit Jahren bekannt. Harveys großes Verdienst war es, daß er, auf den anatomischen Grundlagen aufbauend, in tadelloser experimenteller Methodik die neue Blutbewegungslehre entwickelt hat und daß sein unabhängiger Geist sich nicht scheute, die ausgetretenen Pfade zu verlassen und unentwegt für seine ureigene Idee vom Kreislauf einzustehen. Um die mechanischen Gesetze, nach denen sich das Blut in seinen Bahnen bewegt, hat er sich jedoch kaum gekümmert.

G. A. Borelli war der erste, der die Kreislaufforschung mit rein physikalischen Methoden betrieben hat. In seinem Werk «De motu animalium», das wir schon oft zitieren mußten, finden sich beachtenswerte Ansätze zu einer Hämodynamik². Wichtige Grundsätze wurden hier zum ersten Mal dargestellt

¹ Durchmesser des Bulbus nach heutigen Angaben: ungefähr 24 mm, Durchmesser des blinden Flecks nach Daniel Bernoulli $\frac{1}{7}$ des Bulbusdurchmessers = ungefähr 3,5 mm, Durchmesser der Papille nach heutigen Messungen nur etwa 1,5 mm.

² De motu animalium, Teil II, Cap. V–VII, p. 48–101.

oder wenigstens angedeutet. So erkannte er, daß die Schlagadern beim Einströmen des Blutes gedehnt werden und daß sie, wenn sie kraft ihrer Elastizität wieder die Ruhelage anstreben, gleichzeitig den Inhalt vorwärtstreiben. Hier wird also schon klar die Elastizität der Gefäßwand für das kontinuierliche Fließen des Blutes verantwortlich gemacht.

Eine unbedingte Voraussetzung für das tiefere Verständnis der Blutbewegung fehlte aber noch: Man kannte die Gesetze der bewegten Flüssigkeiten noch nicht. Erst die Regeln der Hydrostatik waren bis jetzt Allgemeingut geworden. Daß auch sie in den Händen eines begabten Kreislaufforschers zu großen Erfolgen führen konnten, das bewiesen die genialen Versuche von Stephen Hales (1677–1761). Dieser Mann war Pfarrer und Rektor in einem englischen Landstädtchen. In seiner Freizeit widmete er sich den verschiedensten physiologischen Studien. Im Jahre 1733 veröffentlichte er seine *«Statical Essays containing Haemastatics»*. Diese Schrift enthielt die Ergebnisse unzähliger Experimente, die er am Gefäßsystem von Tieren durchgeführt hatte. Er band Hunden und Pferden lange Glasrohre in die Hals- und Beinarterien ein und beobachtete, wie hoch das Blut in ihnen stieg. Damit hat er, von physiologischen Gesetzmäßigkeiten ausgehend, die Lehre vom Blutdruck begründet. Allerdings waren es rein hydrostatische Größen, die hier gemessen wurden, und Hales beging nun den Fehler, daß er daraus die im ganzen Kreislaufsystem herrschenden Druckverhältnisse beurteilen wollte. Um hier zu einem richtigen Resultat zu kommen, mußten noch ganz andere wichtige Faktoren berücksichtigt werden, die Hales bei seinen Versuchen verborgen blieben und die auch von der reinen Physik noch nicht erforscht worden waren.

Da erschien im Jahre 1738 Daniel Bernoullis *«Hydrodynamik»*. Wie schon der neugeschaffene Name besagte, waren die bewegten Flüssigkeiten und ihre Eigentümlichkeiten Gegenstand der Untersuchungen in dieser Monographie. Bewegte Flüssigkeit ist aber auch das Blut, das sich durch die unzähligen Gefäße des Körpers wie durch ein hochkompliziertes Röhrensystem ergießt. Ein Teil der in der *«Hydrodynamik»* festgehaltenen Gesetzmäßigkeiten mußte deshalb auch in der Hämodynamik von ausschlaggebender Bedeutung sein. Der berühmte Systematiker François Boissier de Sauvages (1706–1767) hat die wesentliche Bedeutung der Schrift Bernoullis für die Kreislaufforschung richtig erfaßt, wenn er im Vorwort zu seiner *Nosologie* (1763) schreibt:

«Quaenam sit pressio sanguinis in vase quiescentis, docet vulgaris hydraulica, verum quaenam transfluentis sit pressio nuper tantum nos docuit illustrissimus Daniel Bernoullius in *Hydrodynamica*.» («Welches der Druck des ruhenden Blutes in einem Gefäße ist, das lehrt uns die gewöhnliche Hydraulik. Doch welches der Druck des fließenden Blutes ist, das gab uns erst neulich der berühmte Daniel Bernoulli in seiner *Hydrodynamik* bekannt.»)

Einem sorgfältigen Leser von Bernoullis *Hydrodynamik* konnte der Einfluß des Querschnittes eines Blutgefäßes auf die darin herrschenden Widerstände

nicht länger verborgen bleiben. Er mußte sich aber auch darüber klar werden, daß auf den Gefäßwänden ein steter seitlicher Druck lastet, der von der Geschwindigkeit des durchströmenden Blutes und damit indirekt von den Widerständen abhängig ist. Dieser Seitendruck erklärte ihm aber auch das Phänomen des Pulses. Verschiedene Pulsqualitäten konnte er jetzt physikalisch erklären.

Bernoulli selbst hatte zwar hämodynamische Fragen in den 12 Sektionen seines Werkes nicht direkt angeschnitten, aber sie interessierten ihn doch außerordentlich. Er war sich der Bedeutung der von ihm vermittelten Gedanken für die Kreislaufforschung bewußt. Wir können nur bedauern, daß er auf diesem Arbeitsgebiet nicht mehr eigene Forschungen angestellt und publiziert hat. Einem Brief an Euler¹ entnehmen wir, warum es trotz den verschiedensten Anläufen nicht dazu gekommen ist:

«Es ist mir lieb zu vernehmen, daß Ew. eine pièce de pulsu arteriarum vorhaben: ich hab dieses argumentum schon lang untersucht und viele neue veritates darin entdeckt, unterdessen bleiben doch die meisten quaestiones indeterminatae. Übrigens sind viele davon nur deswegen indeterminatae, weil man nicht genugsam die debitas mensuras untersucht, die man doch per experimenta et observationes leicht haben könnte, sonderlich circa diametros canalium angulos quos inter se faciunt rami conspicui, crassities parietum, fibrarum extensibilitatem et virtutem contractilem, resistantias diversi generis, quas fluida patiuntur dum per canales fluunt etc. Meine idées wären, wie ich mir flattiere, nützlich: aber in Basel ist man gleichsam vergraben und findet man keine subsidia. Doch ist allbereits vieles tractiert worden in den Haemostatick von Haller², welche Ew. ohne Zweifel werden gelesen haben; sonst ich denselben wollte geraten haben, diese Haemostatick zu durchgehen, ehe und bevor sie dero pièce drucken lassen. Wenn dero Academie einmal recht eingerichtet ist und einen Anatomicum und Physicum experimentalem hat, so wollte ich ein Verzeichnis schicken omnium experimentorum et observationum instituendarum, vermittels welcher ich mich getraute die wichtigsten Punkte der Physiologie weit besser zu tractieren, als bishero geschehen.»

Also durch die Sparsamkeit der Basler sind die kühnen und weitreichenden Forschungspläne auf diesem Gebiete der Physiologie vereitelt worden. Die wenigen Untersuchungen, die Bernoulli trotz mangelnden «Subsidia» durchführte, waren ergebnisreich. Auf diesem Gebiete ist ihm seine größte physiologische Leistung gelungen, die Berechnung der Herzarbeit. In einem gesonderten Kapitel wird davon die Rede sein. Studien über den peripheren Kreislaufapparat, besonders die Pulslehre, sind uns keine überliefert. Nur stichwortartige Notizen auf zwei Seiten der «Schemata lectionum anatomicarum» deuten darauf hin, daß er seinen Studenten mit Hilfe der hydrodynamischen Gesetze den Kreislauf erklärt haben muß. Wenn er sie nach der Ursache des Pulses fragte, so erwartete er die Antwort, daß der Seitendruck auf die Arterienwand für dieses Phänomen verantwortlich sei. Der Examenskandidat mußte ihm auch die Ursachen aufzählen, die den peripheren Widerstand im Kreislauf vermehren, den Seitendruck in den Gefäßen erhöhen und so den Puls härter werden ließen. Der Examinator hatte sich selbst folgende Faktoren notiert³:

¹ Der Brief ist datiert vom 25. Dezember 1743.

² Hier hat sich Bernoulli wohl verschrieben, es sollte Hales und nicht Haller heißen.

³ Blatt 20 der «Schemata lectionum anatomicarum».

«1. a tenacitate fluidorum (die Zähigkeit der Flüssigkeiten).

2. a copia (die Blutmenge).

3. a contractione vasculorum fluidorum (die Kontraktion der Blutgefäße).»

Der junge Doktorand Johann Rudolf Stähelin¹ scheint Daniel Bernoullis anatomische Vorlesungen sehr fleißig besucht zu haben. Das merken wir an seiner Dissertation mit dem Titel «De pulsibus». Hier packte er das Problem des Pulses mit viel Geschick an und bewies dabei, daß er die neuen Gesetze der Hydrodynamik recht wohl verstanden hatte. Bei der Erklärung des Pulsphänomens macht er sich die neuen Erkenntnisse Bernoullis erfolgreich zunutze: Jedesmal wenn das Herz ein neues Quantum Blut austreibt, so stößt dieses auf die riesigen Widerstände im Gefäßsystem. Der Seitendruck auf die Gefäßwände muß stark ansteigen. Diese geben wegen ihrer Elastizität nach, und so wird das Lumen der Schlagadern erweitert. Die periodische Vergrößerung des Gefäßdurchmessers während der Systole des Herzens imponiert dem palpierenden Finger des Untersuchers als Puls. Stähelin erkannte auch, daß mehrere Qualitäten des Pulses – die man damals mit viel mehr Sorgfalt als heute auseinanderhielt – mit dieser «Pressio lateralis» und ihren Veränderungen zusammenhängen. Er wußte aber auch, daß die Arbeit der seitlichen Drucke bei der Erweiterung der Gefäße nicht nutzlos verloren ging, denn diese zogen sich kraft ihrer Elastizität in der Ruhepause des Herzens automatisch zusammen, wenn der Seitendruck zurückging, und verliehen dabei dem Blut einen neuen Bewegungsimpuls. Er betonte allerdings die Bedeutung der Gefäßwandmuskulatur bei diesem Vorgang zu stark. Die Kräfte der Elastizität traten in seinen Augen bei der Gefäßsystole hinter den aktiven muskulären Kräften weit zurück. Seine wesentliche Erkenntnis war aber, daß das Herz bei der Vorwärtsbewegung des Blutes durch die Gefäßwände unterstützt wird. Er wies darauf hin, daß die alte, harte Gefäßwand eines Greises diese Aufgabe nicht mehr erfüllen könne. Richtig war auch seine Idee, daß nicht alle Arterien zu gleicher Zeit sich kontrahieren, sondern daß der Bewegungsimpuls das Blut in der Aorta kurze Zeit früher treffe als in den feinen Arterien². Heute wissen wir, daß die Pulswelle über die Gefäße hinläuft und so die Bewegung weiterträgt.

Zum Schluß streift Stähelin noch die Beziehungen zwischen Kreislauf und Atmung. Experimente hatten ihm gezeigt, daß verstärkte Atmung und vermehrte Kreislauftätigkeit immer miteinander parallel liefen. Die gegenseitige

¹ Johann Rudolf Stähelin (1724–1800) studierte in Basel Medizin. 1751 Dr. med., 1753 Professor für Anatomie in Basel, 1776 Professor für theoretische Medizin. Einmal kandidierte er für die mathematische Professur, und 1750 erhielt er die Erlaubnis, physikalische Vorlesungen zu halten. Unter seinen wenigen Publikationen verdient nur die «Dissertatio physico-medica de pulsibus» einige Beachtung (Basel 1749, abgedruckt in Hallers Disp. anat. select., Vol. IV).

² «melius inde erit statuere, sanguinem citius in aorta quam in arteriis capillaribus motus impressionem accipere et revera diversitas quaedam observatur, licet exigua» (Abschnitt XIV).

Beeinflussung der beiden Größen erklärt er sich allerdings rein mechanisch. Stieg das Schlagvolumen an, so mußten auch die Atemzüge zahlreicher werden, um das Stagnieren der größeren Blutmenge im Lungenkreislauf zu verhindern. Am Schluß der Arbeit finden sich noch die Bemerkungen über die Volumometrie, die schon oben dargelegt worden sind.

Stähelins Dissertation ist nur ein kleines Basler Beispiel dafür, wie die neuen Erkenntnisse der Hydrodynamik die Physiologie des Blutkreislaufes befruchtet haben. Schon bei ihrem Erscheinen bekam sie wohl ein besonderes Gewicht dadurch, daß ihr Verfasser bekannt war als Schüler des Mannes, der wie kein anderer berufen war, die Gesetze der bewegten Flüssigkeiten auszulegen. Wir gehen kaum fehl in der Annahme, daß Bernoulli indirekt einen bestimmenden Einfluß auf die Ausführungen des Doktoranden hatte. Auch aus diesem Grunde hat Albrecht Haller sie wohl für wert erachtet, in seinen «Disputationes anatomicae» abgedruckt zu werden. Außerdem wird Stähelin recht oft in dem Kapitel der «Elementa physiologiae» zitiert, das in umfassender Weise alle bisherigen Ergebnisse der Pulsforschung darstellt.

Albrecht Haller geht dort auch auf die Druckverhältnisse im komplizierten Röhrensystem des Organismus ein. Auch er schenkt dem Seitendruck besondere Aufmerksamkeit und deutet an, welch gefährliche Wirkung dieser auf krankhaft veränderte Gefäßwände haben kann (Aortenaneurysma)¹.

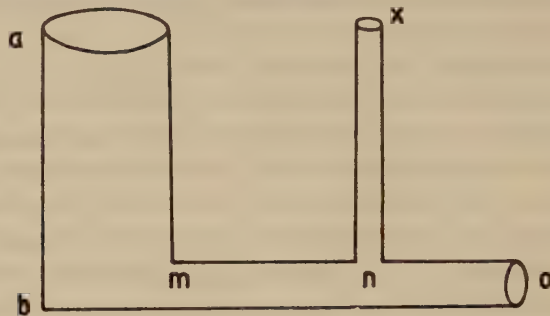
Die theoretischen und experimentellen Grundlagen zum Verständnis dieser Erscheinungen hat sich Haller zum Teil selbst durch das Studium von Bernoullis «Hydrodynamik» erarbeitet. Daneben macht er sich auch die Forschungsergebnisse anderer Gelehrter zunutze. Einer seiner Kronzeugen ist François Boissier de Sauvage in Montpellier². Wir haben schon gesehen, wie treffend dieser die Bedeutung von Bernoullis Hauptwerk für die Hämodynamik charakterisiert hat. Der bekannte Systematiker der Nosologie interessierte sich stark für Fragen der Kreislaufforschung. Ein deutlicher Beweis ist die Tatsache, daß er Hales «Haemostaticks» ins Französische übersetzt und ausführlich kommentiert hat. In den folgenden Jahren prüfte er die Ergebnisse des Engländers nach, und gleichzeitig war es sein Anliegen, die Kenntnisse, die er sich beim Studium von Bernoullis Hydrodynamik erworben hatte, zu verwerten. Die Resultate seiner Bemühungen können wir einigen kleinen Publikationen entnehmen. Sie sind aber auch in die entsprechenden Kapitel der Nosologie eingebaut. Wohl am klarsten und aufschlußreichsten in unserm Zusammenhang sind seine «anatomico-hydraulicae Observationes de arteriarum pulsatione»³.

¹ Siehe auch H. Buess, Notizen zur Geschichte der Sphygmographie. *Experientia* 3, 1947.

² H. Buess hat als erster in seinen interessanten «Notizen zur Geschichte der Sphygmographie» auf die wenig bekannten hämodynamischen Arbeiten Sauvages hingewiesen.

³ *Nova acta physico-medica Acad. Caes. Leopoldino-Carolinae Nat. Curios.* vol. 1, Nürnberg 1757, p. 128–141.

Sauvages beginnt mit einem Bericht über genaue Messungen der Erweiterung von Aorta und Arterien durch den Pulsschlag. Die Dilatation wird bedingt durch den Druck, den das strömende Blut auf die Seitenwände ausübt.



In enger Anlehnung an die 12. Sektion von Bernoullis Hydrodynamik unternimmt er es dann, mit Hilfe einer einfachen Versuchsanordnung, den Seitendruck zu demonstrieren und quantitativ zu erfassen. Aus einem Gefäß *ab* strömt Flüssigkeit durch die Röhre *mo* aus. Durch den hydrostatischen Druck bedingt, hat die ausströmende Flüssigkeit in *m* eine bestimmte virtuelle Geschwindigkeit¹. Alle die verschiedenen Widerstände, die den Lauf des Wassers vom *m* bis *o* hemmen, bewirken, daß die wirkliche aktuelle Geschwindigkeit beim Ausfließen viel geringer ist. Im seitlich angebrachten feinen Tubus *nx* steigt das Wasser je nach den Widerständen in *mo* oder der Höhe der Wassersäule in *ab* verschieden hoch. Da läßt sich also der seitliche Druck direkt ablesen, und es ist zu erkennen, von welchen Größen er abhängig ist. Wertmäßig wächst er mit dem Quadrat des Überschusses der «*velocitas virtualis*» über die «*velocitas actualis*». Diese Prinzipien überträgt Sauvages nun auch auf den Kreislauf. In der Aorta verhält sich die aktuelle Geschwindigkeit zur virtuellen wie 1:30. Es muß sich dort also ein recht massiver Seitendruck entwickeln, der das Gefäß stark dilatieren kann.

Der französische Gelehrte unterscheidet zwei Druckarten im Kreislauf: Erstens die «*Pressio continua*», die wir unserm heutigen diastolischen Druck gleichsetzen können, der während der Ruhepause des Herzens im Kreislauf herrscht (während dieser Zeit wird das Blut nur durch die Elastizität der Gefäße vorwärts getrieben), und zweitens die «*Pressio alternata*». Die letztere herrscht während der Systole, das heißt in der kurzen Zeit, in der sich das Herz

¹ Die Ausdrücke «virtuelle Geschwindigkeit» (*velocitas virtualis*) und «aktuelle Geschwindigkeit» (*velocitas actualis*) sind heute nicht mehr gebräuchlich. Sie waren auch zu Sauvages Zeiten nicht einheitlich und klar gefaßt. Unter der «*velocitas virtualis*» haben wir die Geschwindigkeit zu verstehen, die das Wasser kraft der ihm innewohnenden potentiellen Energie erreichen könnte, wenn es auf seinem Fluß nirgends einem Widerstand begegnete. Die «*velocitas actualis*» ist diejenige Geschwindigkeit, die das Wasser unter der Einwirkung all der durch das Gefäßsystem bedingten Widerstände erreichen kann.

zusammenzieht und das Blut austreibt. Die virtuelle Geschwindigkeit der frisch ausgeworfenen Blutmenge ist hoch, die aktuelle kann wegen der großen peripheren Widerstände nicht erhöht werden, und so kommt es zu einer Steigerung der Pressio lateralis. Diese periodische Steigerung macht sich in den Pulsationen bemerkbar. Die Bezeichnungen der Drucke hat er so gewählt, weil seiner Meinung nach die Systole des Herzens zeitlich nur einen kleinen Bruchteil der Diastole ausmacht. Jetzt bleibt ihm noch übrig, die Widerstände genauer zu umschreiben, die die «*velocitas actualis*» und indirekt den Seitendruck so entscheidend beeinflussen. Einmal wird die Strömung des Blutes durch dessen Viskosität gebremst, das heißt die einzelnen Blutteilchen reiben sich aneinander und an der Oberfläche der Gefäßwände. Der Widerstand wächst aber auch proportional der inneren Oberfläche der Gefäße. Die innere Oberfläche der kleinsten Gefäße ist relativ am größten, und deshalb sind auch die Widerstände an der Peripherie am größten.

Die Gefäßdiastole wird ausgeprägter, wenn das Schlagvolumen des Herzens ansteigt oder seine Aktion schneller wird, denn auch in diesem Momente muß der Seitendruck ansteigen.

Sauvages' Aufmerksamkeit wendet sich auch der Elastizität der Gefäße zu, von der er weiß, daß sie die Kontinuität des Blutstromes garantiert. Er unternimmt Messungen des «*Elastizitätsmoduls*» der Gefäßwand und stellt fest, daß ein etwa 3 Daumen langes Stück bei allmählicher Belastung bis auf das Doppelte gedehnt werden kann. Abschließend geht er in einer längeren mathematisch-physikalischen Untersuchung der Frage nach, weshalb die Venen im Gegensatz zu den Arterien nicht pulsieren.

In zwei weitem kleinen Abhandlungen, die er zusammen mit der Übersetzung von Hales' «*Haemostatics*» herausgegeben hat, versucht er unter dem Eindruck von Bernoullis «*Hydrodynamik*» mit der physikalischen Betrachtungsweise zum Verständnis auch pathologischer Erscheinungen zu gelangen. Die eine Studie befaßt sich mit dem Vorgang der Entzündung und die andere mit dem Phänomen des Fiebers. In der Studie «*Sur l'inflammation*» erklärt Sauvages dem Leser kurz zusammengefaßt, welchen Gesetzen das Blut als bewegte Flüssigkeit im Gefäßsystem des Körpers gehorcht und wie sich von diesen Kenntnissen aus die Symptomatologie der Entzündung von einer Vermehrung der peripheren Widerstände im Kreislaufsystem erklären läßt.

Die Art der Argumentation möge folgende Passus illustrieren :

«Im Zustand der Gesundheit wird das bei jeder Kontraktion des Herzens ausgestoßene Blut viel schneller in die Arterien getrieben, als das vorhergehende Blut fließt. Dies kann gar nicht anders sein, weil jede Vorwärtsbewegung des Blutes vom Herzen ihren Ausgang nimmt. (Dessen Einwirkung auf das Blut in der Aorta hört auf, sobald es kein neues Blut mehr auswirft, d. h. sobald die Kontraktion zu Ende ist.)

Indessen teilt das zuletzt ausgetriebene dem vorhergehenden Blut von seiner Geschwindigkeit mit. Dabei geraten auch die Gefäße in Bewegung. Jetzt hat aber das vom Herzen zuletzt beschleunigte Blut einen Teil seiner Geschwindigkeit verloren.

Es ist richtig, daß die wie eine Feder gespannten elastischen Gefäßwände ihrerseits wieder mit einer gewissen Kraft auf das Blut einwirken. Die bei der Dilatation der Gefäßwände durch das Blut verlorengegangenen Kräfte sind aber sicher größer als diejenigen, die bei der Kontraktion wieder frei werden, denn es gibt keine ‚ideale Elastizität‘. Zudem treibt der von den Gefäßwänden ausgehende Bewegungsimpuls das Blut nicht in der Richtung des Kreislaufs, sondern eher in der Gegenrichtung. So wird also das Blut nur so weit vorangetrieben, als die Bewegungskomponente in Richtung des Kreislaufs über diejenige in der Gegenrichtung überwiegt.

Deshalb ist es notwendig, daß das Herz dem Blute in jeder Sekunde einen neuen Grad von Bewegung vermittelt. Aber dies kann es nicht tun, ohne daß es dabei zu einer Stoßwirkung (*chocque*) kommt. In einer Flüssigkeit kann es keinen Stoß geben, ohne daß auf die Gefäßwände ein starker Druck ausgeübt wird. Daraus resultiert die normale Diastole oder Anschwellung der Arterien, die Wärme und Spannung, wie man sie im gesunden Zustande beobachtet. Wenn alle diese Erscheinungen intensiver werden, weil die Ursachen vermehrt sich auswirken (also vermehrte Widerstände im Kreislauf sich finden), dann entsteht durch ihr Zusammenwirken die Entzündung.» (*Haemostatiques*, p. 277.)

Die Ergebnisse der Studien über das Fieber sind nicht so bedeutend, daß wir näher darauf einzugehen brauchen. Das Denken von Sauvages ist im übrigen ganz von Stahls Vitalismus erfüllt. Um so erstaunlicher und überraschender ist es, daß er in den besprochenen Abhandlungen so ausgeprägt mechanistischen Anschauungen huldigt. Es zeigt uns nur, wie tief das Gedankengut der Iatrophysiker verwurzelt war, und diese Deduktionen sind weiterhin ein überzeugender und eindrucklicher Beweis dafür, wie nachhaltig Bernoullis «Hydrodynamik» die Physiologen jener Zeit beeindruckt hat.

7. Die Berechnung der Herzarbeit durch Daniel Bernoulli¹

Am 4. Oktober 1737 wurden an der Universität Basel zwei Kandidaten der Medizin, Philipp Metz und J. J. Ritter, zu Doktoren der Medizin promoviert. Zu ihrem Promotor hatten sie sich den Professor für Anatomie und Botanik, Daniel Bernoulli, gewählt. Dieser mußte die Regie führen bei dem ganzen feierlichen Akte, den die Ernennung eines Doktors damals noch darstellte. Die Sitte verlangte, daß der Promotor sich in einer Rede an das illustre Publikum richtete, das dem Schauspiel jedesmal beizuwohnen pflegte. Daniel Bernoulli benützte den Anlaß, um von einer interessanten physiologischen Studie zu berichten. Seine Rede trug den Titel «*De vita*». Darin legte er seinen Zuhörern dar, wie sich die Arbeit des Herzens berechnen lasse. Es war nicht das erstemal, daß jemand sich mit dieser Frage beschäftigte. Seit Descartes verkündet hatte,

¹ O. Spiess und F. Verzár haben sich 1941 eingehend mit den Studien Bernoullis auf diesem Gebiete befaßt. (Eine akademische Festrede von Daniel Bernoulli über das Leben [*De vita*] herausgegeben von O. Spiess und F. Verzár. *Verh. Naturforsch. Ges. Basel* 52, 189 [1941].) Sie haben die bis dahin unbekannte Promotionsrede entdeckt. In jener Schrift finden sich die Äußerungen Bernoullis und der Text der Dissertation von Daniel Passavant in deutscher Übersetzung nebst einer ausgezeichneten Würdigung der Verdienste Bernoullis um die Berechnung der Herzarbeit. Wir können uns deshalb hier darauf beschränken, nur die wesentlichsten Resultate bekannt zu geben.

daß der Mensch seiner Natur nach eine Maschine sei, und seit Borelli in seiner Schrift «De motu animalium» die Grundsätze der Galileischen Mechanik auf die tierische Maschine übertragen hatte, hat man sich immer wieder mit der Messung der treibenden Kräfte, vor allem derjenigen des zentralen Motors, des Herzens, befaßt.

Zuerst tat dies Borelli. Aber er und seine Zeitgenossen wußten nicht, was sie sich unter der «Kraft» vorstellen sollten. Kraft war es, womit zum Beispiel eine Kugel auf den Boden drückte. Kraft besaß die Kugel, auch wenn sie aus der Kanone geschossen wurde. Borelli erklärte, die Kraft des schlagenden Herzens sei größer als 180 000 Pfund. Es ist dies derselbe Fehler, wie wenn man sagen würde, ein Grundstück habe eine Fläche von 10 Kilometern, d. h. es ist eine falsche Dimension angewendet. Borelli stellte sich unter dieser Riesenzahl die Kraft vor, die die Natur braucht, um das Herz gegen die ungeheuren Widerstände des peripheren Kreislaufes zu kontrahieren. Andere Physiologen verstanden unter der Herzkraft so etwas wie die Reißfestigkeit des Herzmuskels. Ihre Angaben schwankten zwischen 5 Unzen und 50 Pfund.

Unterdessen hatte Leibniz sein neues Maß der Kräfte aufgestellt. Er unterschied die «tote Kraft» einer Kugel, und verstand darunter ihr Gewicht, und die «lebendige Kraft», das heißt das Produkt aus dem Gewicht mal der Höhe, die die Kugel erreicht, wenn sie in die Höhe geschossen wird. Im 19. Jahrhundert erhielt dieses Produkt den Namen Arbeit.

Nahezu 20 Jahre lang hatte Johann Bernoulli, Daniels Vater, seinen Schülern in Basel dieses wahre Maß der Kräfte eingehämmert. So durfte Daniel bei seinem Vortrag annehmen, daß seine Zuhörer wußten, worum es bei der lebendigen Kraft ging und daß man bei ihrer Messung angab, welches Gewicht von eben dieser Kraft auf eine bestimmte Höhe gehoben werden konnte. Er führte nun diesen Begriff der mechanischen Arbeit hier erstmals in die Physiologie ein. Für ihn bestand die Leistung des Herzens in der Hauptsache darin, daß dieses mit jedem Pulsschlag eine bestimmte Menge Blut unter Druck in die Aorta pumpte. Daher wurde die Kraft des Herzens nicht durch eine einfache Größe, zum Beispiel ein Gewicht, gemessen, sondern durch ein Produkt von zwei Faktoren. Der eine war die ausgetriebene Quantität Blut, der andere die dem Blutdruck entsprechende Druckhöhe. Damit war ein anschauliches Maß gefunden, das ohne weiteres gestattete, die Leistung des Herzens mit der Leistung anderer Muskeln oder irgendeiner Maschine in Vergleich zu setzen.

In seiner Promotionsrede setzte er bei der Berechnung der Herzkraft folgende Werte ein: Zwei Unzen Blut (60 cm^3)¹ werden durch jeden Schlag des Herzens aus der linken Kammer getrieben. Damit nimmt er einen Wert für das Schlagvolumen an, den wir auch heute noch ohne weiteres anerkennen können. Diese Blutmenge wird mit einer solchen Kraft ausgetrieben, daß sie auf die

¹ Dieser richtige Wert für das Schlagvolumen geht auf Harvey zurück.

Höhe von zwei Fuß ansteigt. Diese Angabe des Blutdrucks stützte sich auf eine Beobachtung auf dem Richtplatz. Bei einer Enthauptung sah er das Blut aus der Halsschlagader zwei Fuß hoch über den Körper hinausspritzen. Wenn er nun 4000 Herzschläge in der Stunde rechnete, so kam er zum Resultat, daß vom linken Herzen in der Stunde eine Kraft erzeugt wird, die ein Pfund auf die Höhe von 1000 Fuß heben könnte. Dem rechten Ventrikel schrieb er die Hälfte der Kraft des linken zu. Die Leistung des gesamten Herzens besteht deshalb nach Bernoullis Rechnung darin, daß es in der Stunde $1\frac{1}{2}$ Pfund Blut auf die Höhe von 1000 Fuß hebt. Rechnen wir mit diesen Zahlen die Gesamttagesleistung aus und benützen wir die heute gebräuchlichen Maßeinheiten, so kommen wir auf einen Wert von 6000 mkg. Das ist nur ein Drittel des entsprechenden, heute gültigen Wertes.

Bernoulli hat seine Entdeckung nicht gleich publiziert. Seine Darlegungen in der Promotionsrede über die Berechnung der Herzarbeit sind bloß als handschriftlich niedergelegte Skizze erhalten geblieben. Er war sich wohl bewußt, daß seine experimentellen Grundlagen noch höchst mangelhaft waren. Die Rechnung war sicher prinzipiell richtig; was aber falsch war, das waren seine Blutdruckwerte. Er hatte angenommen, das Blut steige aus dem linken Herzen zwei Fuß hoch; dies bedeutet, in heute gebräuchlichen Begriffen ausgedrückt, der Druck in der Aorta betrage 44 mm Hg. In Wirklichkeit sind es aber 150 mm Hg. Tierversuche hätten da Bernoulli sicherere Grundlagen geben können. Dazu fehlten ihm aber in Basel die Gelegenheit und die finanziellen Mittel, wie wir aus der Klage aus dem Briefe an Euler wissen.

Doch da kam ihm von anderer Seite Hilfe. Wir erinnern uns noch an die blutigen, aber genialen Versuche, die der Engländer Hales angestellt hatte, und in denen er die Lehre vom Blutdruck begründete. Sein zusammenfassendes Werk, die «Haemostaticks», geriet nun etwas verspätet in Bernoullis Hände. Hier entdeckte er, daß die Werte für den Blutdruck bedeutend höher waren; beim Menschen mußten sie $7\frac{1}{2}$ –8 Fuß betragen. Durch einen seiner Doktoranden, Daniel Passavant (1722–1799) ließ er jetzt die alte Rechnung mit den neuen Werten wiederholen. In seiner «Dissertatio inauguralis mechanico-medica de vi cordis» (1748) hat sich dieser seiner Aufgabe unterzogen. Wie er selbst am Eingang seiner Schrift ganz offen sagt, ließ er sich dabei durch seinen Lehrer Daniel Bernoulli leiten. Unter der Annahme einer Steighöhe von 8 Fuß errechnete Passavant eine Tagesarbeit des Herzens von 12 000 mkg. Hätte er wie sein Lehrer in der Promotionsrede noch die Arbeit des rechten Herzens dazugezählt, so wäre er auf 18 000 mkg gekommen, einen Wert, den auch die modernsten Untersucher als richtig befunden haben.

Die Größe der Herzarbeit ist allerdings mit dem Produkt aus Schlagvolumen und Blutdruck, der sogenannten Druckerarbeit noch nicht vollständig bestimmt. Daneben muß noch die Strömungsarbeit berücksichtigt werden. Auch daran

hat Daniel Bernoulli gedacht. Durch die Feder seines Schülers wies er darauf hin, daß außer dem Druck, der zur Überwindung der Widerstände im Gefäßsystem nötig ist, noch ein zusätzlicher Druck vorhanden sein muß, der dem Blut eine gewisse Geschwindigkeit erteilt, um ihm so das Fließen zu ermöglichen. Er kam zum richtigen Schluß, daß diese Druckkomponente und die dadurch bewirkte Strömungsarbeit nur sehr geringfügig und deshalb praktisch zu vernachlässigen seien.

Wir sind nicht bloß auf Passavants Dissertation angewiesen, wenn wir uns über Daniel Bernoullis verbesserte Berechnungen der Herzarbeit informieren wollen. Er hat nämlich in einer 1753 von der Pariser Akademie preisgekrönten Arbeit¹ – also fünf Jahre nach dem Erscheinen von Passavants Dissertation – ganz nebenbei die Resultate seiner diesbezüglichen Untersuchungen zusammengefaßt und mit folgenden Worten mitgeteilt:

«Il n'y a que le travail du cœur, qu'on peut déterminer assez exactement, puis qu'on scait qu'il fait environ 115 200 battements dans un jour, qu'il pousse environ deux onces de sang dans chaque systole et que les observations et expériences de Monsieur Hales semblent prouver que le sang jeté soit hors du cœur avec une vitesse à pouvoir s'élever à la hauteur d'environ huit pieds, ce n'est là que l'effet du ventricule gauche, celui du ventricule droit en fera environ le quart et on pourra estimer le travail journalier du cœur égal à celui d'élever 144 000 livres à la hauteur d'un pied (24 000 mkg).²»

Hier wird in klarer und knapper Zusammenfassung nochmals das Prinzip der Berechnung der Herzarbeit entwickelt, das wir schon in der Promotionsrede und in der Passavantschen Dissertation kennengelernt haben. Etwas verwundert stellen wir zunächst fest, daß die absoluten Zahlenwerte höher lauten, obwohl Druck und Schlagvolumen gleich geblieben sind wie in Passavants Dissertation. Der Grund liegt, wie bald zu erkennen ist, darin, daß die Pulsfrequenz höher angesetzt wird. Der früheren Frequenz von 4000 steht eine solche von 4800 Schlägen in der Stunde gegenüber. Es liegt also nicht ein Fehler der Methode vor, sondern die Herzarbeit wird einfach für einen Zustand erhöhter Aktivität des Organismus berechnet.

In einem Punkt hat sich hier Bernoulli den heutigen Anschauungen³ ge-

¹ Recherches sur la manière la plus avantageuse de suppléer à l'action de vent sur les grands vaisseaux soit en y appliquant les rames soit en y employant quelque autre moyen que ce puisse être. Recueil des pièces, qui etc., Tom. VII, 1753.

² «Man kann die Arbeit des Herzens (im Gegensatz zu derjenigen anderer innerer Organe des menschlichen Körpers) mit genügender Genauigkeit bestimmen, denn man weiß, daß dieses im Tage ungefähr 115 200 Schläge ausführt und daß es in der Systole zwei Unzen Blut austreibt. Weiterhin scheinen die Beobachtungen und Experimente des Herrn Hales zu beweisen, daß das Blut mit einer solchen Geschwindigkeit aus dem Herzen geworfen wird, daß es ungefähr eine Höhe von acht Fuß erreichen kann. Dies gilt für den linken Ventrikel. Der rechte Ventrikel leistet ungefähr einen Viertel der Arbeit des linken. Man kann daher annehmen, daß die tägliche Arbeit des Herzens derjenigen gleichzusetzen ist, die es braucht um 144 000 Pfund einen Fuß hoch zu heben» (Abschnitt IV, p. 7).

³ Heute wird die Arbeitsleistung des rechten Ventrikels mit einem Fünftel derjenigen des linken angenommen.

nähert, nämlich bei seiner Beurteilung der Arbeit des rechten Herzens. Nahm er in der Promotionsrede noch an, der rechte Ventrikel leiste halb so viel wie der linke, so schätzt er jetzt die Leistung der rechten Kammer nur noch auf einen Viertel derjenigen der linken ein. Was weiterhin gebührende Anerkennung verdient, ist die Tatsache, daß Bernoulli hier erstmals von der «Herzarbeit» («travail du cœur») spricht, während bis jetzt immer von der «vis viva» und dem «effectus absolutus» die Rede war.

Diese Leistung Bernoullis wurde von den Zeitgenossen zum größten Teil nicht anerkannt oder besser gesagt nicht begriffen. Albrecht Haller besprach zwar ausführlich die Arbeit von Passavant. Er wußte auch genau, wer den jungen Doktoranden inspiriert hatte. Aber er glaubte, die erhaltenen Werte ablehnen zu müssen, weil sie die riesigen Widerstände im Kreislauf zu wenig berücksichtigten. Natürlich war das Urteil dieses großen Gelehrten, dem die Physiologie so manchen wertvollen Impuls verdankte und dessen physiologisches Sammelwerk die Grundlage bildete, auf der alles weitere Forschen sich aufbaute, von ganz besonderem Gewicht. Man kümmerte sich nicht mehr weiter um die Berechnungen Bernoullis, und so waren sie bald vergessen. Nur F. B. de Sauvages, dessen großes Verständnis für hämodynamische Probleme wir schon früher festgestellt haben, vermittelt uns in seiner kleinen Abhandlung «Sur la cause de fièvre» die Resultate von Bernoullis Berechnung der Herzarbeit. Die Werte sind ihm, wie er schreibt, von Bernoulli persönlich übermittelt worden. Er beweist, daß er das Prinzip der Berechnung begriffen hat, wenn er sagt, daß die Herzarbeit im Fieber gewaltig ansteige, weil die Frequenz größer werde und die peripheren Widerstände zunehmen.

Über hundert Jahre dauerte es, bis die Physiologen Bernoullis Ergebnisse verstanden und seine Methode selbst richtig anwenden konnten. So lange rechnete man noch mit einem Kraftbegriff, den schon Bernoulli als ungeeignet erkannt hatte. Erst der schwäbische Arzt Robert Mayer (1814–1878) berichtete 1845 in seinen berühmten Abhandlungen «Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel» und «Die Mechanik der Wärme» über die richtige Methode zur Bestimmung der Herzarbeit, die er wiederentdeckt hatte. Die Daten, die er dabei verwendete, waren durch fehlerhafte Versuche falsch bestimmt worden. So lieferten seine Berechnungen Werte, die die Wirklichkeit weit übertrafen. Es dauerte weitere 50 Jahre, bis die Zahlen einigermaßen exakt wurden.

Zum Schluß ist es ganz interessant, die heute gültigen Zahlen mit den Angaben von Bernoulli und Passavant zu vergleichen. Rein gibt in seinem weitverbreiteten Lehrbuch der Physiologie (1948) für die Herztagesarbeit einen Wert von 20 000 mkg an, Broemser kommt in seinem Lehrbuch der Physiologie auf einen solchen von 19 200 mkg. Wenn wir uns nochmals die Zahlen von Bernoulli und Passavant vergegenwärtigen (1748: korrigierter Wert von

Passavant 18 000 mkg, 1753: Daniel Bernoulli 24 000 mkg), so sehen wir, daß die neusten Resultate gar nicht wesentlich davon abweichen. Man kann F. Verzár nur beistimmen, wenn er am Schluß seines historischen Überblickes über die Berechnung der Herzarbeit¹ schreibt:

«Man hat versucht, die Berechnung der Herzarbeit exakter zu machen, aber nur mit dem Resultat, daß die an den Ergebnissen Daniel Bernoullis angebrachten Korrekturen immer noch innerhalb der Fehlergrenzen liegen, wenigstens so lange, als es sich um den ruhenden Körper handelt.»

So können wir heute die 200 Jahre alte Berechnung der Herzarbeit, wie sie Daniel Bernoulli ausgeführt hat, als auch unsern jetzigen Kenntnissen entsprechend bezeichnen.

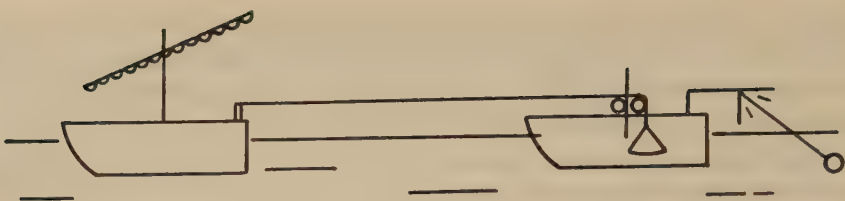
8. Daniel Bernoullis Beiträge zur Arbeitsphysiologie

Aufatmend ließen die vier Bootsleute ihre Ruder sinken und trockneten ihre schweißüberströmten Gesichter. An allen windstillen Sommertagen dieses Jahres 1738 hatten sie einen gelehrten Herrn, den Physikprofessor Gabriel Cramer (1704–1754) aus Genf, mit ihren Kähnen auf den Genfersee hinaus begleiten müssen. Dort hatte er mit ihrer Hilfe gar sonderbare Versuche angestellt. Eben jetzt hatten sie eine halbe Stunde lang mit größtem Krafteinsatz ihr Boot, dem ein zweites angehängt war, über das stille Wasser getrieben. Die beiden Schiffe waren seltsam aneinander festgemacht. Das verbindende Seil lief im zweiten Kahn über eine Rolle. An seinem Ende hing ein Gefäß, das je nach der Geschwindigkeit der Boote mit einem wechselnden Gewicht beladen wurde, so daß es im Gleichgewicht blieb und das hintere Schiff gleichmäßig mitgenommen wurde. Dieses eigenartige Gefährt hatten sie an diesem Tage und während der vorangegangenen Wochen bald zu zweit, bald zu viert, bald ganz langsam, bald so schnell sie konnten, aber immer mit schönen regelmäßigen Ruderschlägen über den See hin fahren müssen.

Die wackeren Männer begriffen wohl den Sinn dieses Treibens nicht recht, aber Arbeit blieb Arbeit, und sie wurden dafür recht bezahlt. Professor Cramer, der im Hinterteil des zweiten Schiffeleins saß und mit Hilfe eines Pendels, das ins Wasser hing, die Geschwindigkeit maß, konnte da schon eher Auskunft geben.

Er führte im Auftrag und nach den Anordnungen eines Bekannten, des Basler Physikers Daniel Bernoulli, Messungen über die Arbeitsleistung der Ruderer durch. Zu diesem Zwecke diente auch die vorher beschriebene Versuchsanordnung mit den zwei aneinander gebundenen Schiffen. Mit dem Gewicht, das an dem verbindenden Seil hing und das je nach der Geschwindigkeit verschieden

¹ Über das Leben (De vita). Eine akademische Festrede von Daniel Bernoulli. Mit deutscher Übersetzung und geschichtlichen Beiträgen von O. Spiess und F. Verzár (Basel 1941).



groß sein mußte, konnte der Widerstand gemessen werden, den die Ruderer fortwährend überwinden mußten, wenn sie das zweite Schiff vorwärts bewegten. Damit wurde indirekt der Teil ihrer Kraftanstrengung bekannt, der für die Ortsveränderung des Schiffes verantwortlich und unumgänglich notwendig war. Das Boot, in dem die Ruderer saßen, war gleich schwer wie das angehängte, folglich brauchte es, um beide fortzubewegen, die doppelte Anstrengung. Der Weg, der in einer bestimmten Zeit durchfahren wurde, war durch die Geschwindigkeitsmessung bekannt. Mit Hilfe aller dieser Größen war es nun ein Leichtes, die effektive Arbeitsleistung der Ruderer bei der gleichmäßigen Vorwärtsbewegung der Schiffe zu berechnen. Die gewonnenen Resultate schickte Cramer nach Basel, und wir werden später sehen, wozu sie Daniel Bernoulli verwendet hat.

Erstmals befaßte sich Daniel Bernoulli in der «Hydrodynamik» mit arbeitswissenschaftlichen Fragen. In einem Kapitel dieses Buches beschäftigte er sich mit hydraulischen Maschinen und deren Leistungsfähigkeit. Ihm war klar, daß eine Maschine nur so viel Arbeit leisten konnte, als von ihr verbraucht wurde. Wenn sie, wie gewisse Pumpen und Hebelsysteme, von Menschen in Bewegung gesetzt werden muß, so ist die Arbeit, die sie ausführen kann, eben nur so groß wie diejenige, die von den Arbeitern auf sie übertragen wird. Bernoulli sucht zu erkennen, welche physiologischen Gegebenheiten bei der Konstruktion einer Maschine berücksichtigt werden müssen, damit die Leistungsfähigkeit des bedienenden Menschen voll ausgenützt wird. Zu diesem Zweck untersucht er einmal die Leistungsfähigkeit des Menschen überhaupt. Er, der mit technischen Dingen so vertraut war, sah ganz richtig, daß bei der Berechnung der Arbeitskraft der «menschlichen Maschine» die gleichen Prinzipien angewendet werden mußten wie in der Technik. So verwendete er auch hier das neue Kräftemaß der «vis viva», wie es Leibniz eingeführt hatte. Das Produkt aus Hubhöhe und gehobenem Gewicht, bezogen auf die Zeit, gab ihm ein klares Maß für den Effekt seiner Arbeit.

In Zahlen ausgedrückt, verhält es sich mit der Leistungsfähigkeit des Menschen nach Bernoulli folgendermaßen: Ein Mann kann beim Anstieg auf einer um 30° geneigten Ebene in einer Stunde 3600 Fuß zurücklegen. Rechnet man diese Bergbesteigung von einer Stunde Dauer in vertikale Hubarbeit um, so findet man, daß dabei in einer Stunde ein Gewicht von 144 Pfund (= 2 Kubik-

fuß Wasser = Körpergewicht des Durchschnittsmenschen) auf eine Höhe von 1800 Fuß gehoben wird¹. Dies ist eine respektable Leistung, und wir zweifeln daran, ob je eine Versuchsperson von Bernoulli in einer Stunde eine solche Höhendifferenz überwunden hat. Es scheint, daß er zu weitgehende Schlüsse daraus gezogen hat, wenn jemand in wenigen Minuten den Margarethenhügel bei Basel besteigen konnte.

Was der Bergsteiger leisten kann, das sollte jedem Arbeiter bei jeder beliebigen Arbeit auch möglich sein. Soll seine Leistungsfähigkeit voll ausgenützt werden, so muß er durchschnittlich in jeder Sekunde einen Kubikfuß Wasser einen Fuß hoch heben. Ohne Zweifel berücksichtigt hier Bernoulli den Faktor Zeit in seiner Bedeutung für die Ermüdung viel zu wenig. Auf Stunden hinaus ist der menschliche Organismus solchen Belastungen, wie er sie ihm zumutet, sicher nicht gewachsen. Das heißt aber nicht, daß er das Phänomen der Ermüdung überhaupt vernachlässigt hätte, das bei jeder physiologischen Arbeitsleistung eine eminent wichtige Rolle spielt. So erkannte er zum Beispiel klar, daß nicht nur die Quantität der geleisteten Arbeit, sondern auch deren Qualität die Ermüdung beeinflussen. Er sprach es deutlich aus, daß nicht nur physikalische Gesichtspunkte bei der Beurteilung der Schwere einer Arbeit ausschlaggebend sein dürfen. Im streng physikalischen Sinn wird gleich viel Mehrarbeit geleistet, ob man die Kraftanstrengung oder die Geschwindigkeit verdoppelt. Mit den Augen des Physiologen betrachtet, ist der Sachverhalt ein anderer. Ein Mensch, der bis jetzt in der Minute ein Gewicht von 20 Pfund 200 Fuß weit getragen hat, der kann seine Kraftanstrengung sehr wohl verdoppeln. Wenn er aber in der gleichen Zeit das Gewicht die doppelte Strecke weit tragen soll, dann strengt ihn das viel mehr an, und er ist auf die Dauer bloß zu einer geringeren Leistung fähig. Deshalb forderte Bernoulli², daß bei der Konstruktion von Werkzeugen und Maschinen darauf geachtet werde, daß keine solchen unphysiologischen Arten von Arbeit vom bedienenden Menschen verlangt werden, sondern daß in einer bestimmten Zeit bei geringster Ermüdung der größte Arbeitseffekt erzielt werden kann.

Ein zweites Mal geht Daniel Bernoulli noch näher auf arbeitsphysiologische Probleme ein, und zwar in seiner im Jahre 1753 von der Pariser Akademie preisgekrönten Arbeit: «Recherches sur la manière la plus avantageuse de suppléer à l'action du vent sur les grands vaisseaux, soit en y appliquant les rames, soit en y employant quelque autre moyen, que ce puisse être.»

¹ In Wirklichkeit ist die Arbeitsleistung beim Bergsteigen höher. Die Bewegungen sind beim Gehen außerordentlich vielfältig. Die Körpermasse wird nicht geradlinig fortbewegt, sondern unterliegt äußerst komplizierten Schwankungen, die für den Zweck der Vorwärtsbewegung überflüssig sind und offenbar nur unnötige Arbeitsverluste bedeuten.

² Ex hoc consequens est in omni machinarum genere dispiendum praesertim esse, quomodo debeant esse constitutae, ut pro eodem tempore minima hominum defatigatione productum ex conatu eorum in velocitatem omnium maximum sit (Hydrodyn. Sect. 9).

Dem gestellten Thema entsprechend handelt der Inhalt dieser Arbeit von der Fortbewegung von Schiffen, im ersten Teil von Ruderschiffen.

In den einleitenden Paragraphen meldet sich aber der Physiologe zum Wort und befaßt sich ganz allgemein mit der Leistungsfähigkeit des Menschen und deren zweckmäßiger Ausnützung im Arbeitsprozeß, bevor er zu den speziellen Leistungen der Ruderer übergeht.

An die Spitze seiner Betrachtungen stellt Bernoulli den Hinweis darauf, daß nicht von den «Forces mortes» die Rede sein soll, sondern von den «Forces vives», die der Mensch bei seiner Arbeit hervorbringt. Die Arbeitsleistung eines Menschen ist gegeben durch die Kraft, die er ausübt, durch den Weg, auf dem diese Kraft wirkt und die Zeit. Dies ist ganz gleich wie bei der Maschine. Doch dürfen wir diesen Vergleich nicht zu weit treiben, denn es gibt einen wesentlichen Unterschied zwischen der Maschine und dem Organismus: Der letztere ermüdet bei der Arbeit. Innerhalb gewisser physiologischer Grenzen ist diese Ermüdung proportional der physikalischen Arbeitsleistung. Die verschiedensten Arten von Arbeit mit den mannigfaltigsten Kombinationen der Muskeltätigkeit können getan werden, und immer kommt nach Bernoullis Meinung bis zum gleichen Grad der Ermüdung der gleiche Effekt zustande. Diese Ansicht verstehen wir sofort, wenn wir sehen, was nach des Meisters Meinung für die Ermüdung verantwortlich ist.

Es ist nämlich der Verlust an «Spiritus animales», der die Ermüdung bedingt. Die «Spiritus» setzen die Muskeln in Bewegung und stellen ihnen zugleich die Energie zur Kontraktion zur Verfügung. Bernoulli will sie hier als eine Art von gespannten Federn angesehen wissen, die sich im Moment ihrer Aktivität entspannen¹. Diese Anschauungen von den «Spiritus animales» oder «Esprits animaux» stehen in starkem Gegensatz zu denjenigen, die von Bernoulli in seiner Muskelkontraktionstheorie entwickelt wurden. Es ist dies ein neuer Beweis dafür, daß alle Aussagen über diesen geheimnisvollen Stoff rein hypothetisch und durch keine Experimente gestützt sind. Das Bild von den gespannten Federn stellt an unser Vorstellungsvermögen große Anforderungen. Einem Brief an Jean Jalabert (1712–1768) können wir andeutungsweise entnehmen, was Daniel Bernoulli damit meint. Er schlägt dort vor, die «Spiritus animales» als «elektrische Partikelchen» anzusehen, in denen ein gewisser «Aether» sich in höchster Kompression befindet, der bei seiner Freisetzung eine große Menge Energie liefert.

Beim Spannen von Federn wird immer eine bestimmte Menge «Forces vives» geliefert, auf welche Weise sie auch eingesetzt werden. Bis zu gleich starker Ermüdung werden im Organismus immer gleich viel «Spiritus-Federn» entspannt und damit gleich viel Arbeit geleistet. Mit der innern Ökonomie des Organismus ist es so eingerichtet, daß dem Bewegungsapparat, – und zwar dem

¹ «de petits ressorts bandés, qui se débandent au moment de leur activité» (Abschnitt IV).

animalen und dem vitalen zu gleichen Teilen – täglich eine bestimmte Menge «Spiritus» zur Verfügung gestellt wird. Dadurch ist natürlich die Arbeitsleistung an einem Tag auf einer bestimmten Höhe fixiert. Jetzt versucht Bernoulli empirisch, diese pro Tag mögliche Arbeitsleistung herauszufinden. Auf Grund vieler Versuche kommt er zur Überzeugung, daß ein Mann, ohne seiner Gesundheit zu schaden, täglich 1 728 000 Pfund auf die Höhe von einem Fuß heben kann¹. Das ist aber nur die Arbeitsleistung der «animalen Funktionen». Darunter versteht unser Autor die Verrichtungen des willkürlichen Bewegungsapparates. Daneben wird von den «vitalen Funktionen» der unwillkürlich sich bewegendenden Organe, wie Herz, Darm und Atemmuskulatur, nochmals so viel Arbeit verrichtet. Als einzige Komponente der «vitalen Funktionen» läßt sich die Herzarbeit berechnen².

Kurz wird dann noch der Einfluß der Konstitution auf die Arbeitsleistung untersucht. Ein starker und kräftig gebauter Mensch kann wohl während einiger Stunden drei- bis viermal mehr Arbeit leisten, als dies bei zartem und schwächlichem Körperbau möglich ist. Läßt man aber, über viele Tage hin, beide Männer bis zum gleichen Grade der Ermüdung arbeiten, so ist, wie Bernoulli behauptet, der gesamte Effekt ihrer Arbeit nicht sehr verschieden voneinander. Allen Menschen, ob stark oder schwach, stehen im Tage gleich viele «Spiritus» zur Verfügung, und so kann bei allen nur eine bestimmte Menge «Forces vives» geliefert werden.

Erfüllt ein Mann in einem achtstündigen Arbeitstag die Leistung, 1 728 000 Pfund auf einen Fuß Höhe zu heben, so fällt auf eine Sekunde die Arbeitsleistung, 20 Pfund auf 3 Fuß Höhe zu heben. Durch unzählige Experimente kam Bernoulli zur Überzeugung, daß eine solche Sekundenleistung möglich sei. Eine gesteigerte Leistung könnte nur während einiger Minuten ausgehalten werden³.

Die ganze tägliche, physiologisch begrenzte Arbeitsleistung des Werkstätigen sollte man eigentlich nutzbringend anwenden können. Bei vielen Arbeitsvorgängen wird ein Teil davon aber durch unnütze Bewegungen verbraucht. Um diesen Verlust möglichst zu mindern, verlangt Bernoulli, daß man folgende Regel beachte:

«Bei jeder Arbeit, die man sich vornimmt, muß man zu Beginn genau untersuchen, welche Wirkung davon unbedingt notwendig ausgehen muß, d. h. welche unvermeidbar ist durch die Natur der Arbeit selbst. Hat man darüber Klarheit bekommen, so muß man so gut wie möglich jeden andern Effekt zu vermeiden suchen.»

¹ Das sind umgerechnet 288 000 mkg. Moderne Untersucher sagen, daß zum Beispiel bei Feldarbeit und beim Schmiedhandwerk die Leistung eines Normalarbeitstages etwa 200 000 mkg betrage. Im Kriegsdienst und bei Spitzensport können im Tag bis zu einer halben Million und mehr mkg geleistet werden.

² Hier findet sich die früher zitierte Stelle, wo das Prinzip der Berechnung der Herzarbeit nochmals erläutert wird.

³ Umgerechnet nach heutigen Werten beträgt diese Sekundenleistung 10 mkg. Bei achtstündigem Bergsteigen kann man ohne weiteres auf solche Werte kommen.

Auf dieser Grundlage untersucht Bernoulli anschließend den Arbeitsaufwand beim Rudern. Jetzt verwendet er die Resultate von Cramers Versuchen auf dem Genfersee. Wenn er diese nach seinen eigenen Erkenntnissen beurteilt, so stellt sich heraus, daß beim Rudern nur 36%¹ der geleisteten Arbeit wirklich effektiv sind, 64% gehen dadurch verloren, daß die Ruderflächen das Wasser in entgegengesetzter Richtung in Bewegung setzen und die Trägheit der Ruder und verschiedene Reibungswiderstände überwunden werden müssen.

Mit einer Reihe technischer Vorschläge, wie das Rudern rationeller gestaltet werden könnte, schließt dieser erste Teil der Preisschrift, der uns hier ausschließlich interessiert.

Wenn wir die skizzierten Darlegungen über arbeitsphysiologische Probleme überblicken, so können wir sagen, daß Bernoulli hier mit der Durchforschung kaum betretenen Neulandes begonnen hat.

Er hat den Begriff «Arbeit» in seiner doppelten Bedeutung klar erkannt, je nachdem ob man ihn vom Standpunkt des Physikers oder des Physiologen betrachtet. Auf der einen Seite steht die Arbeit als Tätigkeit an sich, die zur Ermüdung führt, auf der andern Seite die Arbeit als Ergebnis dieser Tätigkeit, das vollendete Werk.

Ganz klar hat Bernoulli auch die Dimension der physikalischen Begriffe Arbeit und Leistung erfaßt und damit auch die «Kraft» des Organismus definiert.

Zum erstenmal werden besonders in der Schrift «Recherches sur la manière etc.» Fragen gestellt nach den Beziehungen zwischen Tagesleistung, Arbeitszeit und Leistungsfähigkeit des Menschen überhaupt.

Dort wird auch klipp und klar die Forderung nach einer Rationalisierung der Arbeitsprozesse erhoben. Die menschliche Arbeitskraft soll möglichst produktiv eingesetzt und, wenn immer möglich, soll keine überflüssige Bewegung ausgeführt werden. Solche Gedankengänge mußten in jener Zeit auf fruchtbaren Boden fallen, denn sie kamen den Bedürfnissen der neuauftretenden Industrie sowie des absolutistischen Staates entgegen. Beide, sowohl Fabriken als Staat, waren bestrebt, die eingesetzten menschlichen Arbeitskräfte ganz auszunützen. Wir stehen hier am Anfang einer langen Entwicklung, die auch heute noch andauert. Hat sie am Ende uns abendländischen Menschen das atemraubende Tempo des Lebens gebracht?

¹ Zu diesem Resultat war Bernoulli auf folgende Weise gekommen: Cramer hatte, wenn zwei Ruderer die beiden Schiffe mit 3,5 Fuß/Sek. Geschwindigkeit über den See trieben, am verbindenden Seil ein Gewicht von 100 Unzen anhängen müssen. Dies war also die Kraft, die die Männer stets anwenden mußten, um *ein* Schiff in Gang zu halten. Für beide mußte sie bei den gegebenen Voraussetzungen doppelt so groß sein. Die effektive Sekundenarbeitsleistung der beiden Ruderer betrug dann 200 Unzen (= 12½ Pfund) mal 3½ Fuß = 43½ Fuß Pfund/Sek. Zwei Männer, die voll angestrengt waren – und dies traf bei den beiden Ruderern zu – leisteten aber in Wirklichkeit nach Bernoullis Annahmen zusammen 120 Fuß Pfund/Sek. Die effektive oder nutzbringend angewendete Arbeitsleistung betrug also nur 43,5/120 der wirklich geleisteten Arbeit, das sind ungefähr 36%.

Viele Erscheinungen hat Bernoulli ihrem Wesen nach nicht richtig begreifen können. Daran hinderte ihn seine mechanistische Auffassung vom Organismus und allen Lebensprozessen. Für ihn besorgte eine Art von Uhrwerk den Antrieb der komplizierten menschlichen Maschine, das täglich gleich stark aufgezogen wurde und bei allen Menschen gleich beschaffen war. Wie dieses geheimnisvolle Triebwerk aufgezogen und gesteuert wurde, das waren große Unbekannte. Zum Teil hat er die Lücken durch seine Hypothesen ausgefüllt, zum Teil wurden sie einfach offen gelassen.

In späteren Jahrzehnten haben Jean-Henri Lambert (1728–1777)¹ und Charles-Auguste de Coulomb (1736–1806)² sich wieder mit der Leistungsfähigkeit des Menschen befaßt. Sie haben versucht, die Arbeitsleistung bei verschiedenen Tätigkeiten zu berechnen. Lambert hat die Bewegungen beim Gehen sorgfältig analysiert. Beide haben mit Nachdruck Bernoullis Ansicht zurückgewiesen, daß die Ermüdung weitgehend der Arbeitsleistung proportional sei. Coulomb hat besonders auch auf die hohe Bedeutung der Faktoren: Konstitution, Ernährung und Klima für die Leistungsfähigkeit des Menschen hingewiesen.

Entscheidende Fortschritte waren hier erst möglich, als man in die Vorgänge des Stoffwechsels Einblick gewonnen hatte. Als man erkannte, daß jede Arbeit im Organismus eine Umsatzsteigerung bedingte, da war man so weit, mit Hilfe gasanalytischer Methoden die Arbeitsleistungen des Menschen recht genau berechnen zu können.

¹ Sur les forces du corps humain (Choix de mémoires de l'Académie de Berlin 1776, p. 19).

² Résultat de plusieurs expériences destinées à déterminer la quantité d'action que les hommes peuvent fournir par leur travail journalier (Mémoires de l'Institut de France, Tom. II, p. 380–428, 1799).

III. DANIEL BERNOULLI ALS STATISTIKER UND EPIDEMIOLOGE¹

1. Kurzer Überblick über die Frühgeschichte der Statistik

«Est senatori necessarium, nosse rem publicam.» (Es ist für den Senator unbedingt notwendig, daß er den Staat kennt.) Mit diesen knappen Worten umschreibt hier der römische Staatsmann Cicero die wichtigste Voraussetzung, die es braucht, um ein Land einheitlich zu verwalten. Das heißt: Jeder Regierungsmann muß Land und Leute, natürliche und künstliche Hilfsquellen, die ihm zur Verfügung stehen, gründlich kennen, um richtige Dispositionen treffen zu können. Keines der alten Kulturvölker konnte deshalb auf systematische zahlenmäßige Erhebungen in seinem Einflußbereich verzichten. Sie sind eine Wurzel dessen, was man heute Statistik nennt. Land und Leute waren die ersten Beobachtungsgegenstände dieser primitiven Statistik.

Die praktischen Römer gingen dabei besonders gründlich vor. Bekanntlich fanden in Rom regelmäßige Volkszählungen und Vermögensermittlungen statt. Geburten und Todesfälle mußten bei den Priestern verschiedener Tempel angemeldet werden.

Im Mittelalter mit seiner außerordentlichen staatlichen und politischen Zerrissenheit waren es vorerst nur die Landbücher und die Sterbe- und Taufregister der Klöster, die über Land und Leute etwas Aufschluß gaben. Bald führten auch die aufstrebenden Städte recht genaue Kontrollen ihrer Bevölkerung durch. Sie taten dies aus gewerbepolizeilichen und bevölkerungspolitischen Gründen. Bald geschah es, um die Auswirkungen einer Epidemie besser abschätzen zu können, bald um abzuklären, ob Neuzulassungen zu einem monopolartig geschützten Berufe tunlich seien.

Die Renaissance führte auch eine neue Blüte der Staatswissenschaft herbei. Um die vielfachen und komplizierten Probleme des modernen Staates meistern zu können, mußte man immer mehr zur genauen zahlenmäßigen Beschreibung der vorliegenden Verhältnisse gelangen. Macchiavelli, Aeneas Sylvius Piccolomini und andere haben zum Teil sehr ausgedehnte Beschreibungen zeitgenössischer Staatswesen verfaßt. Das Charakteristische all dieser Werke ist, daß sie sich bestreben, die politisch wichtigen Faktoren zu einem einheitlichen Bilde zusammenzufassen.

¹ An dieser Stelle möchten wir Herrn PD. Dr. Ed. Batschelet, Dozent für «Medizinische Statistik» an der Universität Basel, für seine Beratung in statistischen Fragen recht herzlich danken.

Seit Hermann Conring (1606–1681), Professor der Philosophie, der Medizin und der politischen Wissenschaft an der Universität Helmstedt, wurde diese «Staatenkunde» auch an den Universitäten gelesen und sorgfältig ausgebaut. Diese Art von Statistik hat dann auch den Namen «Deutsche Universitätsstatistik» erhalten. Es war Conrings und später auch Achenwalls (1719–1772) Ziel – um nur die zwei bedeutendsten Vertreter des neuen Lehrfachs zu nennen – tüchtige Staatsbeamte heranzuziehen und diesen die nötigen Unterlagen zu beschaffen für ein begründetes staatsmännisches Urteil über den politischen, militärischen und wirtschaftlichen Zustand der einzelnen Staatswesen ihrer Zeit.

Damit sind wir in der Zeitepoche angelangt, da die Disziplin geschaffen wurde, in der die heutige Statistik mehr verwurzelt ist als in der Universitätsstatistik, nämlich die «Politische Arithmetik». Bis dahin hatte man sich mehr oder weniger damit begnügt, schon bestehende Tatsachen zu schildern und zu ordnen. Die politische Arithmetik aber wurde nun zur exakten Wissenschaft. Sie suchte auf dem Wege der Folgerung zur Erkenntnis von bisher Unbekanntem fortzuschreiten und auf anderem Wege erworbene Einsichten zu kontrollieren und zu erhärten.

Die «Royal Society» in London darf man wohl als die Wiege der politischen Arithmetik ansprechen. Ihre beiden Mitglieder John Graunt (1620–1674) und William Petty (1623–1687) haben ihre Grundlagen geschaffen. 1662 erschien in London Graunts Schrift «Natural and political observations upon the bills of mortality etc. of the city of London». Beim Studieren der wöchentlich erscheinenden Totenzettel war dem jungen Kaufmann der geniale Gedanke gekommen, daß man diese Mitteilungen eigentlich nicht nur aus Neugierde überfliegen sollte, sondern daß daraus auch tiefere Schlüsse gezogen werden könnten. Er sammelte möglichst viele dieser Zettel und legte tabellarische Übersichten an. Seine Erkenntnisse stellte er in der oben erwähnten Schrift zusammen. So fand er heraus, daß von 100 Menschen 36 vor dem sechsten Lebensjahr sterben und nur sieben an Altersschwäche. Er konstatierte das Zuströmen der ländlichen Bevölkerung in die Stadt, weil trotz des Überwiegens der Todesfälle über die Geburten deren Bevölkerungszahl ständig zunahm. Nach der Veröffentlichung seines Werkes floß Graunt von überall her reiches Quellenmaterial zu. Dies gestattete ihm, auf dem einmal betretenen Pfade weiterzuschreiten. Er wurde dabei besonders unterstützt von seinem Freund, dem Physiker und Arzt William Petty. Dieser gab auch eigene Schriften statistischen Inhalts heraus. Deren eine nannte er «Political Arithmetic». Hier wird dieser Name des neuen Wissenschaftszweiges, den wir schon mehrmals gebraucht haben, zum erstenmal erwähnt.

Graunts und Pettrys statistische Publikationen waren für praktische Zwecke noch ganz unbrauchbar. Ihnen fehlten die zuverlässigen Grundlagen. So wurden zum Beispiel ihre Mortalitätsgesetze dadurch verfälscht, daß ihre Er-

hebungen aus Hafenstädten stammten, wo die Bevölkerung stets zu- und abströmte.

Edmund Halley (1656–1742)¹, ein weiterer englischer Pionier der «politischen Arithmetik», hat dann als erster auf empirisch gesicherten Grundlagen aufbauend, Berechnungen über die durchschnittliche Lebensdauer der Neugeborenen und der Personen höheren Alters angestellt. Das zugrundeliegende Zahlenmaterial sammelte er nicht in England selbst, sondern er empfing es zu unserem Erstaunen aus dem Innern des kontinentalen Europa, aus der Stadt Breslau. Ein emsiger Theologe, Caspar Neumann (1648–1715), hatte dort für ihn bedeutungsvolle Vorarbeit geleistet. Neumann war ein sehr vielseitig interessierter Gelehrter. Neben der Theologie trieb er orientalische Sprachforschung. Er war geistlicher Liederdichter. Überdies befaßte er sich auch mit botanischen, astronomischen und meteorologischen Studien. Überall leiteten ihn religiöse Motive. Diese waren es auch – wie wir aus einem Briefe an Leibniz erfahren – die ihn dazu trieben, das Gebiet der noch so jungen Bevölkerungsstatistik zu betreten. Hören wir uns nur einige Sätze an, die er Ende 1689 an Leibniz schrieb und die so typisch sind für seine und vieler seiner Zeitgenossen Geisteshaltung:

«Ich beklage sehr oft, daß itzt und fast die ganze Welt in regno naturae sich auf Experimenta leget und observationes schreibt, aber kein Mensch dergleichen in regno gratiae oder in der Theologie zu thun gedenkt ... Da man doch auch in dieser Regierung unseres Gottes, wenn man nur wollte Achtung geben auf das Werk seiner Hände, alle Augenblicke würde Gelegenheit finden mit Petro zu sprechen, nun erfahre ich in der Wahrheit, und also unser ganzes Christentum mit lauter Experimentis würde dartun können.»

Mit außerordentlicher Sorgfalt stellte nun dieser Mann für die Jahre 1687 bis 1691 die Zahlenverhältnisse der Geburten und Todesfälle zusammen. Schon 1689 schickte er seine ersten Resultate an Leibniz. Dieser war in jener Zeit für statistische Fragen besonders aufgeschlossen, trug er sich doch mit dem Plane, in die neu zu eröffnende Akademie in Dresden eine ständige statistische Abteilung mit den Aufgaben unserer heutigen statistischen Büros einzubauen. Möglicherweise hat Leibniz selbst die «Royal Society», deren Mitglied er war, auf die Arbeit von Caspar Neumann aufmerksam gemacht. Auf alle Fälle trat deren Sekretär Justell mit dem Breslauer Theologen in Verbindung, und durch dessen Vermittlung gelangte Edmund Halley in den Besitz von Neumanns ersten Zahlen. Später standen die beiden Männer in direktem brieflichem Kontakt miteinander. Halleys Verdienst war es nun, daß er, gestützt auf Neumanns Zahlenmaterial, mittlere Sterbetafeln herstellte, aus denen ersichtlich war, wie viele von einer bestimmten Anzahl Neugeborener im Laufe der Zeit

¹ Edmund Halley: geb. 1656, gest. 1742. 1673 mathematische und astronomische Studien in Oxford, 1684 nahe Verbindung und Arbeitsgemeinschaft mit Newton, 1703 Professor der Geometrie in Oxford, 1713 Sekretär der Royal Society, 1719 königlicher Astronom in Greenwich. Bekannt sind vor allem seine astronomischen Werke.

starben. 1693 veröffentlichte Halley diese Tafeln in seiner Schrift «An Estimate of the Degrees of the Mortality of Mankind, drawn of curious Tables of the Births and Funerals at the city of Breslaw, with Attempt to ascertain the Price of Annuities upon Lives». Damit war der Gedanke in die Tat umgesetzt worden, den schon Graunt geäußert hatte, daß man nämlich nur dadurch zum Begriff der Sterblichkeit gelangen könne, wenn es gelinge, eine bestimmte Anzahl Neugeborener bis zur Erreichung höherer Altersstufen zu verfolgen.

Diese Tabellen konnten nun schon praktische Anwendung finden. Vor allem waren sie nützlich für die in jener Zeit blühende Art von Lebensversicherung in der Gestalt der Tontinen. Die Leute vertrauten dabei ihr Kapital einer privaten Gesellschaft oder aber meist dem Staate an und erhielten dafür eine lebenslängliche Rente. Es war dies gerade für den Staat eine bequeme Art, Anleihen aufzunehmen. Nach dem Ableben der Rentner fiel das restliche Kapital in die Hand des Staates. Daß ein solches in jedem Falle noch übrig blieb, dafür sorgten die Versicherungsbedingungen. So darf man Halley als den Begründer der Versicherungsmathematik betrachten. Seinen Tafeln werden wir später in Bernoullis statistischen Schriften noch einmal begegnen.

Von einigen weitem bedeutenden Vertretern der politischen Arithmetik seien hier nur die Namen erwähnt: Kersseboom, Déparcieux, Wargentin.

Am Schlusse unseres skizzenhaften historischen Überblickes über die Anfänge der Statistik sei hier nur noch das Werk des Feldpredigers Johann Peter Süssmilch (1707–1767) in kurzen Strichen gezeichnet. Dieser studierte und prüfte alle bisherigen Resultate der «politischen Arithmetik». Die Ordnung im Entstehen und Vergehen der Menschen riß ihn zur Bewunderung hin. Angeregt durch das bisher Geschaffene stellte er jetzt auch eigene Beobachtungen an. Deren Zusammenfassung findet sich in seiner Schrift: «Die göttliche Ordnung in den Veränderungen des menschlichen Geschlechtes, aus der Geburt, dem Tode und der Fortpflanzung desselben erwiesen von Johann Peter Süssmilch, Prediger beim hochlöblichen Kalcksteinischen Regiment.» Methodisch wird hier nicht sehr viel Neues gebracht. Was das Werk wertvoll macht, ist die Tatsache, daß der Verfasser bei seinen Untersuchungen ein umfangreicheres und kritischer gesichtetes Material zuzog als seine Vorgänger. Ein erstes großes Kapitel befaßt sich mit der Sterblichkeit im allgemeinen und den verschiedenen Faktoren, die sie beeinflussen. Die eheliche Fruchtbarkeit ist das Thema des zweiten Abschnittes. Zum erstenmal wird hier die eheliche Fruchtbarkeit in ihren Zusammenhängen mit den politischen und ökonomischen Verhältnissen der Völker gesehen. Süssmilch weist im dritten Teil seines Werkes auf die Vermehrung der Menschheit infolge des Geburtenüberschusses hin. Er äußert auch schon den Gedanken, der seither immer wieder die Menschheit bedrückte, daß die Erde einmal ihre Bewohner nicht mehr ernähren könnte und daß deshalb eine Geburtenregelung notwendig werden müßte.

Wir heutigen Menschen können nur schwer ermessen, welchen ungeheuerlichen Einschnitt im Geistesleben des Abendlandes es bedeutete, als die politischen Arithmetiker begannen, Gesetzmäßigkeiten und innere Beziehungen im Leben der Menschen zu suchen, und dieses zu einer zähl- und berechenbaren Massenerscheinung wurde. Bis jetzt war das Menschenleben den starren Naturgesetzen entzogen geblieben, die das 17. Jahrhundert so zahlreich entdeckt hatte. Harvey und Stephen Hales hatten zwar gezeigt, daß auch im menschlichen Körper physikalische Kräfte wirksam sind. Das Leben und Sterben, die Geburt und die Vermehrung der Menschen wurden aber allein durch die göttliche Allmacht nach ihren unerforschlichen Absichten gelenkt. Es war ein neuer und kühner Gedanke, als die politischen Arithmetiker die Erscheinungen des Menschenlebens den beiden Werkzeugen des Naturforschers, der Beobachtung und dem Experiment, unterwarfen. Diese Männer, unter denen sich nicht wenige Theologen befanden, wollten ursprünglich den im Volk tief verwurzelten Aberglauben ausrotten, der annahm, daß irgendwelche ominöse Zahlen oder die Konstellation der Gestirne das Menschenleben beeinflußten. Wir verstehen ihren Triumph, als sie entdeckten, daß das Leben der Völker nach mathematischen Gesetzen sich abspielte. Die Mathematik war für die Gelehrten jener Zeit die Königin der Wissenschaften. Sie stand Gott am nächsten. Seine Weisheit hatte sich ihrer bedient, um das Leben der Menschen zu ordnen. Aller Aberglaube mußte da zusammenbrechen. Gott hat der Welt eine Ordnung gegeben. Gleichzeitig hatten aber die Beobachtungen der politischen Arithmetiker auch aufgedeckt, daß die Gesetze des menschlichen Lebens vom Menschen selbst sehr wesentlich beeinflußt werden konnten durch politische und wirtschaftliche Maßnahmen. Die Versuchung lag jetzt nahe, Gott zu einem starren Prinzip der Ordnung zu degradieren und den Menschen ganz in das Zentrum des Weltlaufes zu stellen. Die meisten Wissenschaftler sind ihr erlegen. Der lebendige, persönliche Gott, der ins Leben der Menschen eingreift und es regiert, war für sie tot.

2. Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole et des avantages de l'Inoculation pour la prévenir

A. Die Pockenkrankheit und ihre Bekämpfung durch die Inokulation

«Von Pocken und Liebe bleiben nur wenige frei.» Die Menschen des 18. Jahrhunderts erfuhren immer wieder am eigenen Leibe die grausame Wahrheit dieses geflügelten Wortes, in dem ein verzweifelter Humor zum Ausdruck kam. Jedes Jahr trauerten Tausende von Elternpaaren um eines ihrer Kinder, das die tückische Pockenkrankheit hinweggerafft hatte.

Woher stammt eigentlich diese Geißel der Menschheit? Bei den Völkern des fernen Ostens scheinen die Pocken schon in den frühesten Zeiten der Weltgeschichte ihre Opfer gefordert zu haben. Wir können dies aus uralten Dokumenten der Inder und Chinesen entnehmen; vereinzelte Fälle traten gewiß auch im Abendlande auf. Zu epidemieartiger Ausbreitung kam es hier aber erst seit dem 6. Jahrhundert, nachdem durch die Kriegszüge der Araber die Berührung der orientalischen mit den abendländischen Nationen intensiver geworden war. Die Kunde, die wir von ärztlicher Seite über die Krankheit erhalten, ist vorerst noch sehr spärlich. Erst ums Jahr 900 hat der arabische Arzt Rhazes eine selbständige Abhandlung über die Blattern geschrieben unter dem Titel: «De vario-
lis et morbillis.» In den folgenden Jahrhunderten sind die Nachrichten über exanthematische Epidemien viel zu vereinzelt, als daß wir ein deutliches Bild über die Verbreitung der Pocken bekommen könnten. Vom 17. Jahrhundert an wissen wir, daß in dieser Zeitepoche mehrmals verheerende Pockenepidemien über Länder und Erdteile hinwegfegten. Den Höhepunkt ihrer Ausbreitung erlebte die Krankheit ohne Zweifel im 18. Jahrhundert. In kaum glaublicher Weise dezimierte sie die Bevölkerung der Städte und Länder.

Inzwischen war auch das Interesse der Ärzte für das Problem der epidemischen Krankheiten im allgemeinen ganz erheblich gestiegen. Sydenham und Ramazzini hatten ihm die erste ausführlichere wissenschaftliche Bearbeitung zuteil werden lassen. Nun war man nicht mehr gewillt, tatenlos und demütig die Seuchen als Strafe Gottes über sich ergehen zu lassen. Über die Ätiologie der epidemischen Krankheiten tappte man zwar noch vollkommen im Dunkeln. Man suchte vorerst einmal die unmittelbaren Bedingungen, unter denen sie auftraten, zu erforschen. Die wissenschaftlichen Akademien taten sich dabei besonders hervor. Hellsichtigen Männern konnte es nicht verborgen bleiben, daß die sozialen Zustände der Entstehung und Verbreitung verheerender Seuchen beträchtlichen Vorschub leisteten. Die Steuern und Abgaben des Volkes dienten der Prunksucht und den ehrgeizigen Plänen der regierenden Despoten. Die primitivsten Forderungen der öffentlichen Gesundheitspflege aber wurden nicht beachtet. Das Volk wohnte schlecht, war schlecht ernährt und gekleidet und zum Teil moralisch verwildert. Die Seuchenbekämpfung mußte da ganz allgemein außerordentlich schwierig sein. Was im speziellen die Pocken anbetraf, so waren die Ärzte ihnen gegenüber vollkommen machtlos bis zu Beginn des 18. Jahrhunderts. Im Jahre 1721 zeigte sich ein erster Hoffnungsschimmer am Horizont. Die Kunde von der Methode der Inokulation gelangte von Konstantinopel nach England.

Es gehörte schon seit langer Zeit zum Erfahrungswissen der Völker, daß niemand zweimal an den Pocken erkrankte. Warum sollte man da nicht die erste Erkrankung in einem möglichst gesunden Körper während einer gutartig verlaufenden Epidemie künstlich erzeugen? Aus diesem Gedanken heraus

setzte man gesunde Menschen dem Kontagium leichter Pockenfälle aus in der Hoffnung, daß diese leicht erkrankten und dadurch immunisiert würden. Es war dies das sogenannte «Pockenkaufen». Über die Gefährlichkeit dieses Vorgehens brauchen wir wohl weiter kein Wort zu verlieren. Etwas raffinierter gingen die alten Chinesen vor. Ihre Ärzte bliesen den Leuten mit einem feinen Rohr Pockenschorfpulver in die Nase und erzeugten so eine leichte, immunisierende Pockenerkrankung.

Die Methode der Inokulation beruhte auf dem gleichen Gedanken. Man spritzte den Inhalt einer Pockenpustel eines an benignen Pocken erkrankten Menschen unter die Haut des zu behandelnden Individuums und suchte so eine Immunisierung zu erreichen. Das praktische Vorgehen bei der Inokulation werden wir uns später näher ansehen.

Den Völkern rings um das Kaspische Meer war die Inokulation schon seit urdenklichen Zeiten bekannt. Besonders die Armenier bauten die Methode sehr stark aus, schützten damit sich, ihre Kinder und ihre kostbare Handelsware vor den verheerenden Pocken. Sie trieben nämlich auf den Märkten des Orients einen schwungvollen Handel mit schönen Frauen aus Georgien und Kirgassien. Immer wieder mußten sie erleben, daß ihnen viele dieser Frauen auf dem Transport an den Pocken wegstarben. Diese Art von Pockenschutz bürgerte sich vorerst in der ganzen Türkei ein. In Konstantinopel war es auch, wo abendländische Ärzte sie kennen und schätzen lernten. Deren Publikationen über die neue Methode stießen aber im ganzen christlichen Europa auf Ablehnung oder Mißtrauen. Erst die mutige Initiative der Gattin des britischen Gesandten in Konstantinopel, Lady Worthley-Montague, konnte die Vorurteile zum Teil zerstreuen. Von den guten Erfolgen der Inokulation bei einer Epidemie in der türkischen Hauptstadt beeindruckt, ließ sie ihren Sohn in Konstantinopel und im Jahre 1721 ihre Tochter in London inokulieren.

Dadurch auf die Methode aufmerksam gemacht, ließ sie der englische König an sechs zum Tode verurteilten Männern ausprobieren. Das Experiment war erfolgreich. Darauf ließ die Prinzessin von Wales ihre zwei Töchter ebenfalls inokulieren. Jetzt war die englische Aristokratie für die Neuerung gewonnen. Aber das ungeschickte Vorgehen vieler Praktiker und die damit verbundenen Mißerfolge hemmten den Fortschritt. Dazu trat der Widerstand der Geistlichkeit, die der Ansicht war, Inokulieren heiße Gott versuchen und sei deswegen Teufelswerk. Es brauchte einen langen, zähen Kampf, bis die Vorurteile in England überwunden waren, bis man zur Inokulation spezielle Spitäler baute und alle der Staatsfürsorge überbundenen Kinder systematisch inokulierte. In der Zwischenzeit war auch Nordamerika für die neue Pockenbekämpfungsart gewonnen worden. Auf dem europäischen Kontinent dagegen stand sie noch in Mißkredit. Erbittert tobte der Kampf zwischen Anhängern und Gegnern.

Der Genfer Arzt Théodore Tronchin (1709–1781) führte in seiner Vaterstadt mit überaus großem Geschick die Inokulation durch. Regierung und Geistlichkeit konnten sich von seinen Erfolgen überzeugen. Sein Geheimnis war die sorgfältige Vorbehandlung, die er vor dem Eingriff dem Patienten angedeihen ließ. Er stärkte zuerst den Organismus durch Sport, Landaufenthalte und kräftigende Nahrung. Jahreszeit und Klima im Moment des Eingriffes mußten ganz bestimmten Bedingungen genügen. Der Genfer war ohne Zweifel der erfolgreichste Inoculateur in ganz Europa. Natürlich drang sein Ruhm ins benachbarte Frankreich, wo man eben leidenschaftlich das Pro und Contra der Methode diskutierte. Die bedeutendsten Akademiker auch außerhalb der Medizin hatten Stellung bezogen. Voltaire, ein glühender Verfechter der Inokulation, fuhr eigens nach Genf, um sich dort von Tronchins Erfolgen zu überzeugen. Begeistert schrieb er nach Paris. Ein weiterer Anwalt der Methode in Frankreich war der Akademiker Condamine, ein vielseitig interessierter Forschungsreisender und Gelehrter. Die Inokulation war für ihn ein unerschöpfliches Thema. Unermüdlich sammelte er Beobachtungen, die für das neue Pockenschutzverfahren sprachen, und streng kontrollierte und kritisierte er die Angaben der Gegner. Mit Begeisterung berichtete er von den erfolgreichen Eingriffen, die durch Tronchins erfahrene Hand nun auch in Frankreich durchgeführt wurden. 1756 errang dieser einen wichtigen Sieg. Er inokulierte mit Erfolg die Kinder des Herzogs von Orléans. Jetzt war der Bann zum Teil gebrochen. Viele drängten sich herzu, um sich dem neuartigen Eingriff zu unterziehen. Aber die Vorurteile wollten und wollten nicht ganz verschwinden. Mißerfolge, meist hervorgerufen durch unsachgemäßes und leichtsinniges Vorgehen des behandelnden Arztes, führten zu ganz schweren Rückschlägen. Die bedeutenden Gegner, wie zum Beispiel L'Epine, ließen keine Gelegenheit ungenützt, um da, wo die Inokulisten sich eine Blöße gaben, mit ihrer scharfen Kritik einzusetzen. Es kam so weit, daß die Inokulation vorübergehend verboten wurde. Die Medizinische Fakultät in Paris bestellte eine zwölfgliedrige Kommission, die alle mit der umstrittenen Sache in Zusammenhang stehenden Fragen abklären sollte. In diesem Gremium waren die Diskussionen so erregt, daß es beinahe blutige Köpfe gegeben hätte.

Dank den stets sich mehrenden positiven Ergebnissen vermochte die Inokulation in Frankreich sich doch allmählich durchzusetzen. 1769 wurde in den Militärschulen der Eingriff erlaubt. Großen Eindruck machte auch allenthalben die erfolgreiche Inokulation von Louis XVI und seinen Kindern.

Inzwischen hatten auch die Ärzte in Deutschland, Dänemark, Belgien, Schweden und Italien inokulieren gelernt. In diesen Ländern hatten sich viele Tausende der Prozedur unterworfen und waren von den Pocken verschont geblieben.

Die Inokulation in Basel

In den Mauern der größeren Städte der deutschen Schweiz wurde die Inokulation ebenfalls praktiziert. Hier seien nur die Basler Verhältnisse näher beleuchtet. 1756 erhielt der Basler Arzt Achilles Mieg (1731–1799)¹ von der Medizinischen und Theologischen Fakultät die Erlaubnis, Inokulationen durchzuführen. Er hatte sich im Soldatenspital Maastricht entsprechend ausgebildet. Die beiden Brüder Daniel I und Johann II Bernoulli halfen ihm mit größter Überzeugung und Tatkraft, die neue Methode zu propagieren. Unerschrocken stellte ihm Johann II zwei seiner Kinder zu den ersten Versuchen zur Verfügung. Nach deren glücklichem Ausgang kam 1757 der dritte Sprößling von Johann II an die Reihe, der dreizehnjährige Gymnasiast Johann III. Kaum genesen durfte dieser am 31. Mai 1757 seine Baccalaureusrede zum Lobe der Pockeninokulation halten. Sie trug den Titel: «Oratiuncula de Insitione variolarum»². In lateinischer Sprache werden hier im Detail die geschichtliche Entwicklung, die Methodik und die Vorteile der Inokulation geschildert. Den Text hat ihm wohl der Vater aufgesetzt. Achilles Mieg legte, wie wir aus der «Oratiuncula» vernehmen, größtes Gewicht auf die Vorbereitung der Patienten durch eine kräftigende Diät und laxierende Medikamente. Was die Technik des Eingriffes betrifft, ging Mieg folgendermaßen vor: Er legte feine Stoffäden in Pockeneiter ein und ließ sie anschließend an der Luft trocknen. So konnten sie wenn nötig längere Zeit aufgehoben werden. Die so präparierten Fäden wurden in kleine Ritzwunden am Oberarm für eine bestimmte Zeit eingelegt. Die Wunde kam zum Eitern und das Resultat war eine benigne Pockenerkrankung.

Im gesamten hat Mieg in Basel während seines Wirkens etwa hundert Personen inokuliert. Es ist dies eine bescheidene Zahl, wenn wir bedenken, daß die Stadt damals etwa 15 000 Einwohner zählte. Die Basler steckten eben auch voller Mißtrauen gegen die neue Methode der Pockenbekämpfung. Daran konnte all der Einsatz der Herren Bernoulli nicht viel ändern. Der geringste Anschein eines Mißerfolges konnte das im Verborgenen schwelende Mißtrauen zu hellem Aufflackern bringen. Als zum Beispiel zur Zeit der Inokulation von Johann III Bernoulli dessen anderthalbjähriges schwächliches Brüderchen starb, lief mit Windeseile das Gerücht durch die Stadt, dieses sei, von seinem ältern Bruder angesteckt, an den Pocken gestorben. Dies entsprach der Wahrheit nicht.

Selbst kleine Pockenepidemien, die allerdings meist relativ gutartig ver-

¹ Mieg, Achilles: geb. 22. Juni 1731, gest. 11. Dezember 1799. Studien in Basel, Dr. med. 1756, Prof. praxeos 1777–1799. Gesuchter Arzt und anregender akademischer Lehrer. Er veröffentlichte kein größeres Werk. Von einiger Bedeutung sind lediglich seine Berichte an Schinz über die Inokulationen, die er ausführte.

² Abgedruckt in den *Epistol. viror. erudit. ad Alb. Haller, Pars I, Vol. IV, No. 32.*

liefen, vermochten die Stadtleute nicht in größerer Zahl zur Inokulation zu bewegen. Wir können deshalb den Ärger wohl verstehen, dem Mieg in einem seiner Briefe an Schinz mit folgenden Worten Luft macht (10. Juli 1764):

«Bey uns findet dieses Geschäft beständige Hindernisse. Noch allezeit wollen einige mit scheinheiliger Mine und verdrehten Augen, es für eine große Sünde gelten machen, daß man sich erfreuen dürfe ein fast über alle Menschen verhängtes Übel durch ein solches Mittel zu lindern, dessen gesegnete Ausübung doch die Guttheißung der göttlichen Vorsehung auf das kräftigste beweiset.»¹

Wir werden später auf die Vor- und Nachteile der Inokulation zurückkommen. Wir werden es erst tun, wenn wir die Beiträge Daniel Bernoullis zu diesem Gebiet der Epidemiologie kennengelernt haben.

B. Inhalt und Bedeutung von Daniel Bernoullis Schrift:

*«Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole
et des avantages de l'Inoculation pour la prévenir»*

Zu unserem Erstaunen hat der stille und sonst so zurückgezogene Bewohner des kleinen Engelhofes an den hitzigen Auseinandersetzungen rund um die Inokulation in Frankreich recht lebhaften Anteil genommen. Die Probleme und Streitfragen, zu denen er in Basel im Auftrag des Staates als Begutachter Stellung nehmen mußte, konnten allerdings seinen Geist nicht zu besonders hohem Fluge anregen. Wenn er zum Beispiel ausrechnen mußte, wie viel Wasser in der Minute den Rhein hinunterfloß, oder wenn er den Streit um die Basler Uhren schlichten sollte, die gegenüber denjenigen andernorts völlig grundlos eine Stunde vorgingen, dann wurde er immer wieder schmerzlich an die engen, kleinbürgerlichen Verhältnisse seiner Vaterstadt erinnert.

Durch seine weltweiten Beziehungen und durch seine Studien der zeitgenössischen wissenschaftlichen Literatur erfuhr er von dem großen Interesse, das man andernorts epidemiologischen Fragen entgegenbrachte. Er las auch von dem neuartigen Versuch, den Pockenepidemien mit der Inokulation zu Leibe zu rücken. Die großen politischen Arithmetiker wie Halley, Süßmilch, Wargentin und Déparcieux kannte Bernoulli aus ihren Werken. Es war weniger der Arzt in ihm als vielmehr der Mathematiker und zukunftsgläubige Wissenschaftler, der sich von dem hier verkündeten Neuen fasziniert fühlte.

Die Familie Bernoulli verbanden immer besonders enge Bande mit der Pariser Akademie der Wissenschaften und einzelnen französischen Gelehrten. So war zum Beispiel der Mathematiker Maupertius 1729 eigens nach Basel gekommen, um den Vorlesungen von Johann I zu folgen. Dabei hatte sich eine Freundschaft mit dessen Sohn Johann II angebahnt. In der Folge besuchte

¹ Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Bd. 3.

der Franzose Basel regelmäßig, und hier ist er auch in den Armen seines Freundes 1759 gestorben. Daniel Bernoulli gehörte ebenfalls zum Bekanntenkreis des französischen Gelehrten.

a) Absichten, allgemeine Statistik der Pockenmortalität

Auf einem seiner letzten Besuche scheint Maupertuis den Basler Physiker ermuntert und gedrängt zu haben, seine wohl im Gespräch geäußerten Ideen über die Methode zur zahlenmäßigen Erfassung des Nutzens der Inokulation in einem «Mémoire» zusammenzufassen und der Akademie der Wissenschaften zuzustellen. Auf das inständige Bitten des Herrn de Maupertuis, wie er selber sagt, hat sich Daniel Bernoulli also an die Arbeit gemacht, und am 30. April 1760 konnten die gelehrten Herren in Paris mit der Lektüre des «Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole et des avantages de l'Inoculation pour la prévenir» beginnen.

«In dieser Abhandlung ist es nur meine Absicht, einen Vergleich anzustellen zwischen dem Zustand der Menschheit ohne Inokulation und demjenigen, der einträte, wenn der heilbringende Eingriff der Inokulation entweder allgemein durchgeführt oder doch nach bestimmten Richtlinien angewendet würden».¹

Mit diesen Worten umreißt Bernoulli im ersten Paragraphen seiner Studie das Ziel, das er sich gesetzt. Er weiß zwar, daß seine Grundlagen noch mangelhaft sind, und doch ist er davon überzeugt, daß er, gestützt auf sein bescheidenes Zahlenmaterial, neues Licht in den ganzen Problemkreis bringen kann. Um überhaupt seine Aufgabe lösen zu können, sollte er natürlich über die Pockensterblichkeit im allgemeinen genau unterrichtet sein. Die Zahlenberichte in der damaligen Literatur differieren sehr stark voneinander, je nach der Epidemie, in der sie gewonnen wurden. Dazu bemerkt unser Autor ganz richtig, daß diese Unterschiede weniger – wie oft angenommen werde – in der Konstitution der Kranken begründet liegen als vielmehr in der Beschaffenheit der schädlichen Noxe. Bevor er daran denken kann, die Parallelen zu ziehen zwischen den beiden erwähnten Zuständen der Menschheit, dem natürlichen und demjenigen frei von Pockenepidemien, müssen vorgängig zwei Fragen geklärt sein:

«I. Quel est le risque annuel à différents âges d'être surpris par la petite vérole pour ceux qui ne l'ont pas eue et

2. Quel est celui d'en mourir pour ceux qui en sont attaqués?»²

¹ «Mon dessin n'est dans ce mémoire que de faire une comparaison entre l'état de l'humanité tel qu'il est sans inoculation et celui qui serait si cette salutaire opération était ou généralement admise, ou simplement suivie avec de certaines maximes» (§ 1).

² 1. Wie groß ist das jährliche Risiko für die verschiedenen Lebensalter, von den Pocken befallen zu werden, bei denen, die noch nie daran erkrankt sind?

2. Wie groß ist die Gefahr zu sterben für diejenigen, die an den Pocken erkranken?

Âges par années	Survivants selon M. Halley	N'ayant pas eu la petite vérole	Ayant la petite vérole	Prenant la petite vérole pendant chaque année	Morts de la petite vérole pendant chaque année	Sommes des morts de la petite vérole	Morts par d'autres maladies
0	1300	1300	0				
1	1000	896	104	137	17,1	17,1	283
2	855	685	170	99	12,4	29,5	133
3	798	571	227	78	9,7	39,2	47
4	760	485	275	66	8,3	47,5	30
5	732	416	316	56	7	54,5	21
6	710	359	351	48	6	60,5	16
7	692	311	381	42	5,2	65,7	12,8
8	680	272	408	36	4,5	70,2	7,5
9	670	237	433	32	4	74,2	6
10	661	208	453	28	3,5	77,7	5,5
11	653	182	471	24,4	3	80,7	5
12	646	160	486	21,4	2,7	83,4	4,3
13	640	140	500	18,7	2,3	85,7	3,7
14	634	123	511	16,6	2,1	87,8	3,9
15	628	108	520	14,4	1,8	89,6	4,2
16	622	94	528	12,6	1,6	91,2	4,4
17	616	83	533	11	1,4	92,6	4,6
18	610	72	538	9,7	1,2	93,8	4,8
19	604	63	541	8,4	1	94,8	5
20	598	56	542	7,4	0,9	95,7	5,1
21	592	48,5	543	6,5	0,8	96,5	5,2
22	586	42,5	543	5,6	0,7	97,2	5,3
23	579	37	542	5	0,6	97,8	6,4
24	572	32,4	540	4,4	0,5	98,3	6,5

Genaue Antworten auf diese Fragen zu geben, war schwer, und zwar vor allem deshalb, weil die Ärzte sich nirgends die Zahl und das Alter ihrer pockenkranken Patienten notierten.

Es bleibt Bernoulli nichts anderes übrig, als Hypothesen aufzustellen, die ihm am wahrscheinlichsten erscheinen. Auf Grund des großen Zahlenmaterials, das ihm aus den Weltstädten Paris und London bekannt ist, nimmt er an, daß von 8 Menschen, die die Pocken noch nie gehabt haben, jährlich 1 von dieser tödlichen Krankheit befallen wird, und daß von der gleichen Zahl von Pockenkranken jährlich 1 seinem Leiden erliegt.

Bernoullis nächstes Ziel ist es, die Pockensterblichkeit in jedem einzelnen Lebensalter auszurechnen. Will er dabei von den vorher erwähnten Verhältniszahlen ausgehen, muß er zuerst die allgemeine Sterblichkeit der einzelnen Lebensalter kennen. Was er nun braucht, sind die bereits besprochenen Sterbetafeln, in denen eine ganze Generation von ihrer Geburt bis zu ihrem Verlöschen sorgfältig beobachtet und registriert wird. Er stützt sich dabei zu Recht

auf diejenigen von Halley. Dank seiner virtuoson Beherrschung aller mathematischen Regeln und Gesetze gelingt es ihm, für jedes Lebensalter die Zahl derjenigen zu berechnen, die die Pocken noch nicht gehabt haben. Dabei ist ihm die von seinem Onkel Jakob begründete Wahrscheinlichkeitsrechnung von großem Nutzen. Unmittelbar ans Ziel gelangt er mit Hilfe einer Differentialgleichung mit drei Unbekannten. Die von Halley geschaffene Totentafel und die selbst berechneten Werte stellt Bernoulli in vorstehender Tafel (s. S. 79) zusammen. Er verfolgt dabei die Generation nur bis ins 24. Lebensjahr. Für seine Zwecke genügt diese Zeitspanne vollkommen, denn bis dahin ist praktisch die ganze Generation von den Pocken durchseucht.

Im folgenden gibt Bernoulli Anleitung zum Lesen der Tabelle und weist auf einzelne Punkte hin, worüber sie ganz neuartigen Aufschluß gibt. Zählt man alle Pockentodesfälle in der 7. Kolonne zusammen, so sieht man, daß diese ungefähr $\frac{1}{13}$ der ganzen Generation ausmachen. Diese Zahl wird durch die Erfahrung bestätigt. Weiterhin fällt beim Überblicken der Zahlenkolonnen auf, daß im 9. Lebensjahr die Pocken verhältnismäßig am meisten Menschen hinwegraffen. Nicht weniger als $\frac{2}{5}$ aller Todesfälle sind in dieser Zeit auf Konto der Pocken zu setzen. Besonders eindrücklich geht aus all diesen Zahlen auch hervor, wie schnell die Bevölkerung in ihrer Jugend von den Pocken durchseucht wird. Die mittlere Lebensdauer (*«la vie moyenne»*) aller Kinder, die an den Pocken sterben, beträgt 6 Jahre und 1 Monat.

Noch ist Bernoulli aber nicht am Ziel. Wie wir uns erinnern, hat er sich vorgenommen, den Gewinn auszurechnen, den man von der Inokulation erhoffen darf, wenn sie allgemein eingeführt würde. Auch hier fällt erschwerend ins Gewicht, daß gar keine sorgfältigen epidemiologischen Erhebungen über die Pockensterblichkeit existieren. In Ermangelung genauer Angaben hat man Zuflucht zu Schätzungen und trügerischen Mittelwerten genommen. Bernoulli glaubt nun, daß er gestützt auf seine bisherigen Berechnungen auf folgende Weise zu brauchbaren Resultaten kommen könne:

« J'ai donc jugé que le seul parti à prendre est celui de déterminer sur la même génération de 1300 nouveaux-nés, quel serait au bout de chaque année le nombre de survivants, si toute cette génération était exempte de la petite vérole, ou ce qui revient au même si aucun d'en mourait, sur telle détermination il suffira de comparer les résultats avec la seconde colonne de notre table, pour voir d'un coup d'oeil le rapport entre les deux espèces de vie.»¹

Eine neue Tabelle entsteht, wo der natürliche und der pockenfreie Zustand einer Generation einander gegenübergestellt werden. Dies geschieht mit Hilfe der vorher besprochenen Tafel:

¹ «Ich habe deshalb erkannt, daß man nur so zu einem Ziele kommt, wenn man bei der gleichen Generation von 1300 Neugeborenen für jedes Jahr die Zahl der Überlebenden bestimmt, und zwar unter der Annahme, daß die ganze Generation von den Pocken verschont bliebe oder, was auf das Gleiche herauskommt, daß niemand an dieser Krankheit stürbe. Es wird dann genügen, die erhaltenen Resultate mit den Werten in der zweiten Kolonne unserer Tafel zu vergleichen, um mit einem kurzen Blicke die Beziehungen zwischen den beiden Arten von Leben zu erkennen» (§ 11).

«En général on continuera la liste des nombres que nous cherchons, si du dernier nombre cherché on retranche $p/q \cdot r$, en prenant pour q successivement les nombres de la seconde colonne de la première table, pour r ceux de la huitième colonne et pour p le terme de la nouvelle liste qui précède¹.»

Die neuen Zahlenreihen sehen folgendermaßen aus:

Ages par année	Etat naturel et variolique	Etat non variolique	Différence ou gains
0	1300	1300	0
1	1000	1017,1	17,1
2	855	881,8	26,8
3	798	853,3	35,3
4	760	802	42,0
5	732	779,8	47,8
6	710	762,8	52,8
7	692	749,1	57,2
8	680	740,9	60,9
9	670	734,4	64,4
10	661	728,4	67,4
11	653	722,9	69,9
12	646	718,2	72,2
13	640	711,1	74,1
14	634	709,7	75,7
15	628	705,0	77,0
16	622	700,1	78,1
17	616	695,0	79,0
18	610	689,6	79,6
19	604	684,0	80,0
20	598	678,2	80,2
21	592	672,3	80,3
22	586	666,3	80,3
23	579	659,0	80,0
24	572	651,7	79,7
25	565	644,3	79,3

In der abschließenden Besprechung dieser Tafel weist Bernoulli auf zwei Möglichkeiten hin, sich den Gewinn, der den Menschen durch die Befreiung von den Pocken zuteil würde, richtig vorzustellen. Einmal kann man sich den relativen Gewinn ausrechnen, indem man die Gewinnzahlen auf die entsprechende Zahl der Überlebenden im natürlichen Zustand bezieht. So leben zum Beispiel von den 1300 Neugeborenen unserer Tafel, solange die Pocken regieren, im zehnten Lebensjahr noch 661. Sobald die Seuche nicht mehr auftritt, steigt die Zahl der Zehnjährigen um $\frac{1}{10}$.

Der Gewinn kann aber auch durch den Anstieg der mittleren Lebensdauer

¹ «Ganz allgemein wird man die Liste der Zahlen, die wir suchen, so fortsetzen, daß man von der letzten gesuchten Zahl den Ausdruck $p/q \cdot r$ abzieht. Für q setzt man nacheinander die Zahlen der zweiten Kolonne der ersten Tabelle ein, für r die Werte der achten Kolonne und für p die Zahl der neuen Liste, die gerade vornedran steht» (§ 11).

eines Neugeborenen ausgedrückt werden. Diese beträgt im natürlichen Zustand 26 Jahre und 7 Monate, im pockenfreien 29 Jahre und 9 Monate.

Der Verfasser geht noch einen Schritt weiter. Er wendet sich den Motiven zu, die zu einer Entscheidung für oder wider die Inokulation führen müssen.

«Wenn uns die Inokulation alle diese Vorteile verschaffte, die, wie ich zeigte, mit dem pockenfreien Zustande verknüpft sind, und wenn sie dies ohne jedes Risiko und ohne alle Unannehmlichkeiten täte, müßte man da nicht die Kinder in den ersten Tagen nach ihrer Geburt inokulieren?»¹

Es ist somit nur noch das Risiko der Inokulation, das sorgfältig erwogen werden muß. Infolgedessen will Bernoulli noch folgende wichtige Frage untersuchen: «Welches wäre der Zustand der Menschheit, wenn man unter Inkaufnahme einer gewissen Zahl von Opfern sie vollkommen von den natürlichen Pocken befreien könnte?»²

Nach den Erfahrungen der guten Inokulisten stirbt im schlimmsten Falle einer von 200 Inokulierten an den Folgen dieses Eingriffes. Dadurch reduzieren sich die Gewinnzahlen des pockenfreien Zustandes um ein Weniges. So kann zum Beispiel der Mathematiker berechnen, daß die mittlere Lebensdauer des Neugeborenen unter dieser Annahme zwei Monate kürzer ist. Von 943 Inokulierten müßten 100 an den Folgen des Eingriffes sterben, wenn sich Nutzen und Schaden der Inokulation rein zahlenmäßig aufheben sollten. Aber sogar in diesem Falle könnte man noch einen Vorteil der Inokulation darin erblicken, daß die Kinder, die ihr zum Opfer fallen, früh wegsterben, bevor große Aufwendungen für ihre Ausbildung gemacht wurden. Dafür blieben die jungen Menschen im wertvollsten Alter ganz verschont.

In den abschließenden Paragraphen der Schrift werden noch einige Detailfragen behandelt, die die Inokulation betreffen. Zuerst tritt Bernoulli auf den Vorwurf ein, die Inokulation wirke als gefährliche Infektionsquelle und mache Leute in der Umgebung des Inokulierten pockenkrank, die sonst von der Seuche verschont geblieben wären. Dem hält er entgegen, daß es nur zu begrüßen sei, wenn die Bevölkerung durch eine gutartige Endemie durchseucht werde und sich so laufend einen Pockenschutz erwerbe, ganz abgesehen davon, daß sowieso der größte Teil der Menschen im Laufe ihres Lebens einmal pockenkrank werde.

In welchem Lebensalter die Inokulation am vorteilhaftesten durchzuführen sei, ist eine weitere Frage, die Bernoulli zu beantworten sucht. Seiner Meinung nach sollten grundsätzlich alle Kinder unmittelbar nach ihrer Entwöhnung inokuliert werden, vorausgesetzt allerdings, daß sie gesund und kräftig sind.

¹ «Si l'Inoculation nous procurait tous les avantages que j'ai démontré accompagner l'état de l'exemption de la petite vérole et si elle les procurait sans aucun risque et sans aucun inconvénient, faudrait-il pas inoculer les enfants dès les premiers jours de leur naissance» (§ 11).

² «Quel serait l'état de l'humanité, si moyennant un certain nombre de victimes, on pouvait lui procurer une exemption de la petite vérole naturelle?» (§ 14).

Diese Eile tut not, denn in den ersten fünf Lebensjahren einer Generation fordern die Blattern die Hälfte ihrer Opfer. Das soll natürlich den Zwanzigjährigen, der bisher von der Krankheit verschont blieb, nicht hindern, der quälenden Ungewißheit durch die Inokulation endgültig zu entrinnen.

Ganz zum Schluß meldet sich der Mathematiker nochmals zum Wort und rechnet mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung den risikobedingten Rückgang der mittleren Lebensdauer bei der Inokulation aus.

Obgleich man mit der Lesung von Daniel Bernoullis Schrift in der Pariser Akademie schon am 30. April 1760 begonnen hatte, kam sie doch erst im Jahre 1766 mit allen andern gleichzeitig vorgelegten wissenschaftlichen Arbeiten im Drucke heraus. In der Zwischenzeit hatte der Akademiker D'Alembert bereits sehr vieles an Bernoullis Vorgehen auszusetzen gefunden und seine Kritik in seinen «Opusculs mathématiques» im Jahre 1762 publiziert. Wir werden später noch auf einzelne Punkte von D'Alemberts Angriff zurückkommen. Hier sei nur beigefügt, daß sein Vorgehen außergewöhnlich war und gegen das ungeschriebene Gesetz verstieß, daß die Kritik erst dann über eine wissenschaftliche Studie herfallen durfte, wenn diese gedruckt vorlag. Auf alle Fälle sah sich Daniel Bernoulli gezwungen, den 21 Paragraphen seines «Essai d'une nouvelle analyse ...» am 16. April 1765 noch eine Verteidigung gegen die Angriffe beizufügen. Diese wurde im folgenden Jahre am Kopf des «Mémoire» veröffentlicht.

Trotz der späten Drucklegung erfuhr die Pariser Öffentlichkeit schon im Jahre 1760, wie sehr sich M. Daniel Bernoulli, Docteur en Médecine, Professeur de physique en l'Université de Bâle, Associé étranger de l'Académie des Sciences, für die Inokulation einsetzte. In der Juninummer des «Mercure de France» fand sich nämlich ein Artikel aus seiner Feder mit dem Titel: «Réflexions sur les avantages de l'Inoculation.» Darin werden nicht mit den subtilen Methoden der Mathematik Fragen der Epidemiologie behandelt, sondern der Verfasser wirbt mit leidenschaftlichen Worten für die Inokulation. Wir kennen unsern sonst eher trockenen Daniel kaum, wenn er in den einleitenden Abschnitten in die pathetischen Worte ausbricht: Die Inokulation wäre bald in Europa angenommen, «si la bonne politique voulait s'associer avec l'humanité, je dis même avec la charité chrétienne»¹, oder wenn er rhetorisch an die Adresse der Gegner der Inokulation die Frage stellt: «Ne conviendront-ils pas que Dieu demande la conservation et la propagation de l'espèce qu'il a créée à son image?»² Die Inokulation ist in seinen Augen für den Menschen das geeignetste Mittel, um dieser Forderung Gottes nachzukommen. Der Artikel im «Mercure

¹ «... wenn gute Staatsführung und Menschlichkeit – oder ich kann geradezu sagen christliche Nächstenliebe sich zusammentun wollten.»

² «Sind sie nicht auch der Meinung, daß Gott die Erhaltung und Vermehrung des Geschlechtes fordert, das er zu seinem Bilde geschaffen hat?»

de France» wendet sich im übrigen nicht nur an ein erlesenes Publikum, das die Feinheiten der Mathematik vollkommen beherrscht, sondern er behandelt mehr praktische Fragen der Inokulation. Es werden hier Großversuche mit der systematischen Inokulation vieler Kinder verlangt. Ein Abschnitt läßt sich weiter aus über das Risiko, das man mit der Inokulation eingeht. Besonders eindringlich wird auch das eminent große Interesse des Staates an der neuen Art der Pockenbekämpfung dargetan.

Doch kehren wir wieder zum «Essai d'une nouvelle analyse ...» zurück. Wir möchten kurz die Hilfsmittel streifen, deren sich Bernoulli beim Aufbau seiner Arbeit bedient hat. Wir wissen, daß er kein Freund ausgedehnten Literaturstudiums war und daß er seine Gedankengänge von Grund auf neu zu entwickeln liebte. Hier mußte er sich aber auf Zahlen stützen, die andere für ihn gesammelt hatten. Das war ganz natürlich, denn die Basler Verhältnisse waren nun einmal zu eng, um große Statistiken anzulegen. Süßmilch, Buffon, Kersseboom, Déparcieux und vor allem Halley lieferten ihm wertvolles Material.

Manche Anregung hat der Basler Gelehrte sicher auch von Charles Marie de la Condamine (1701–1774) empfangen. Dieser wußte wohl, wie viel Männer vom Format eines Daniel Bernoulli der von ihm so rastlos vertretenen Sache nützen konnten. Einige an Daniel Bernoulli adressierte Briefe aus der Feder Condamines finden sich in der Handschriftenabteilung der Basler Universitätsbibliothek. Sie stammen aus den Jahren 1754–1763 und handeln vorwiegend von Problemen rund um die Inokulation¹.

Was seinem Basler Mitarbeiter etwa an Zahlen wichtig sein mochte, hat ihm Condamine berichtet. Er hielt ihn stets auf dem Laufenden über die Argumente und Schachzüge der Inokulationsgegner in Frankreich. Er diskutierte und kritisierte aber auch freimütig, was Bernoulli ihm in seinen Antwortbriefen an eigenen Erkenntnissen vorgelegt haben muß. Er hat in der Akademie stets zur Eile getrieben, als der Druck von Bernoullis «Mémoire» sich immer wieder verzögerte.

b) Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung; Pockenepidemie in Basel

In seinem «Essai d'une nouvelle analyse ...» wandte Daniel Bernoulli als einer der ersten die neue Methode der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf ein Problem der medizinischen Statistik an. Aus der Geschichte der Wahrscheinlichkeitsrechnung seien kurz einige Stationen rekapituliert. Hieronymus Cardanus (1501 bis 1596), Pierre Fermat (1608–1665) und Blaise Pascal (1623–1662) hatten dazu den Grundstein gelegt. Sie berechneten als erste mit Hilfe der Mathematik die Gewinnaussichten beim Würfelspiel je nach dem Stand des Spieles. Es sind vorwiegend Lösungen praktischer Aufgaben, die wir von ihnen kennen. Über

¹ Dank der Freundlichkeit von Herrn Professor Spiess durften wir sie einsehen.

die theoretischen Prinzipien, die sie anwandten, sprachen sie sich wenig aus. Erst Christian Huygens (1629–1695) gab einige Jahre später in seiner Schrift «De Ratiociniis in ludo aleae» die systematische Begründung der Rechnungen um das Würfelspiel. Hodde und De Witt in Holland und Halley in England wandten das bisher Erreichte auf die Bevölkerungsstatistik und das mächtig aufblühende Leibrentenwesen an.

Einem Schweizer blieb es vorbehalten, die Theorie dieser ersten Rechnungsmethode der europäischen Kultur entscheidend zu fördern. Jakob I Bernoulli faßte in seiner «Ars conjectandi» (1713 durch seinen Neffen Niklaus postum herausgegeben) das bisherige Wissen über die Wahrscheinlichkeitsrechnung übersichtlich zusammen. Was Bernoulli darüber hinaus an eigenen neuen Ideen darin zum Ausdruck brachte, umschreibt Laplace auf Seite 263 seines «Essai philosophique sur les probabilités» folgendermaßen:

«L'auteur y donne une théorie générale des combinaisons et des suites de l'applique à plusieurs questions difficiles concernant les Hasards. Cet ouvrage est encore remarquable par la justesse et la finesse des vues, par l'emploi de la formule de binôme dans ce genre de questions, et par la démonstration de ce théorème, savoir, qu'en multipliant indéfiniment les observations et les expériences: le rapport des évènements de divers natures, approche de celui de leurs possibilités respectives, dans les limites dont l'intervalle se reserre de plus en plus, à mesure qu'ils se multiplient, et devient moindre qu'aucune quantité assignable.»

Medizinische Tatsachen unterliegen ganz besonders augenfällig den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung, da sie durch eine Anzahl von Umständen begünstigt, durch andere aber behindert werden. Die Grundsätze der Wahrscheinlichkeitsrechnung erlauben es, vergleichbare Gruppen von Tatsachen zusammenzufassen und die Grenzen aufzudecken, innerhalb deren gewisse Gesetze gelten.

Von den Einzelgebieten der Medizin war es wiederum die Epidemiologie, die besonderen Nutzen aus der neuen Rechnungsmethode ziehen konnte. Politische Arithmetiker, Mathematiker und wissenschaftlich tätige Ärzte – was oft in einer Person vereinigt war – erkannten im 18. Jahrhundert die sich hier der Medizin bietenden Möglichkeiten immer besser. Daniel Bernoulli stand mit seinem «Essai d'une nouvelle analyse . . .» in der vordersten Reihe. Die mehr intuitiv arbeitenden medizinischen Praktiker hielten sich noch skeptisch abseits.

Wer in jener Zeit sich näher mit dem eben beschriebenen Problemkreis befaßte, mußte bald erkennen, daß das bisher gesammelte Zahlenmaterial den neuen Anforderungen nicht mehr genügte. Wohl hatte es an einzelnen Orten immer wieder Leute gegeben, die mit großem Fleiß besonders schwere Epidemien untersuchten und die Zahl der Opfer schriftlich fixierten. Wir Basler dürfen mit einem gewissen Stolz darauf hinweisen, daß solche Erhebungen zum erstenmal zu Beginn des 17. Jahrhunderts in unserer Vaterstadt durchgeführt wurden. Der ungemein vielseitige Basler Stadtarzt und Medizinprofessor

Felix Platter (1536–1614) ging während der Pestepidemie der Jahre 1609–1611 von Haus zu Haus und zählte die Opfer dieser tückischen Krankheit.

Was vor allem fehlte, war eine einheitliche Leitung dieser in einzelnen Ländern oder Großstädten durchgeführten Erhebungen von einer Zentralstelle aus. Außerordentlich schwierig war es auch, die Leute zu finden, die aufs ganze Land verteilt, mit dem nötigen Verständnis die Zahlen zusammentrugen. Wir dürfen nicht vergessen, daß alle die allgemeinen Begriffe der Epidemiologie, die uns heute längst zur Selbstverständlichkeit geworden sind, erst geprägt werden mußten. Erst dann konnte die Wahrscheinlichkeitsrechnung angewendet und die Statistik im heutigen Sinne betrieben werden. Die Mortalität, Morbidität und Letalität konnte man noch nicht im heutigen Sinne definieren, denn die Vergleichszahlen fehlten. Die statistischen Ämter mit ihrer Herausgabe monatlicher Bulletins mußten erst geschaffen werden.

Wenn wir Bernoullis Schrift aufmerksam lesen, so sind wir erstaunt, wie klar er seine Begriffe faßt. Er weiß, was die Mortalität¹ und die Letalität² bedeuten, nur muß er es in etwas schwerfälligen Bruchzahlen auszudrücken versuchen.

«... die einfachsten Gesetze der Natur sind immer auch die wahrscheinlichsten³.» Von diesem Grundsatz ließ sich Daniel Bernoulli in der Epidemiologie so gut wie in der Physik leiten. So konnte er in seinem «Essai d'une nouvelle analyse ...» die vielen bisher kaum bearbeiteten Probleme völlig unkompliziert anpacken. Der Leitsatz führte ihn allerdings hie und da auch zu übertriebenen Vereinfachungen. Er nahm zum Beispiel an, die Empfänglichkeit gegenüber den Pocken bleibe in jedem Lebensalter gleich. Heute wissen wir, daß sie jenseits des 40. Lebensjahres stark abnimmt, daß sie dagegen in der Schwangerschaft und im Wochenbett besonders hoch ist. Aber woher sollte Bernoulli das wissen? Nirgends war das Alter der Pockenkranken aufgezeichnet.

Daß Bernoulli bei all seiner Großzügigkeit wohl wußte, welche Detailarbeit bei statistischen Erhebungen notwendig war, beweisen folgende Sätze, mit denen er in § 3 seiner Schrift darlegt, wie sehr seine Arbeit erleichtert worden wäre,

«wenn die Ärzte nur ein Verzeichnis ihrer pockenkranken Patienten führen wollten, wo sie das Alter des Kranken notierten und diejenigen festhielten, die sterben. Aus einer großen Zahl solcher Verzeichnisse, deren Resultat man dem Dekan der Fakultät mitteilen könnte, würde man dann genau ableiten können, wie groß die Gefahr in jedem Lebensalter für den Pockenkranken ist, an der Krankheit zu sterben.»⁴

¹ *Mortalität* (heutige Definition): Anzahl der in einem Jahr an einer Krankheit gestorbenen auf 100 000 gesunde Personen.

² *Letalität* (heutige Definition): Zahl der Todesfälle auf 100 an einer bestimmten Krankheit erkrankte Personen.

³ «... les lois de la nature les plus simples sont toujours les plus vraisemblables» (Introduction apologétique).

⁴ «... si les médecins voulaient tenir un registre de leurs malades de la petite vérole, où ils marqueraient l'âge de chaque malade et ceux qui en seraient morts. D'un grand nombre de pareils registres dont on communiquerait les résultats au Doyen de la Faculté, on déduirait assez exactement le danger que l'on court de mourir à chaque âge auquel on prendrait la petite vérole.»

In der Zeit, da Daniel Bernoulli seinen «Essai d'une nouvelle analyse ...» arbeitete – also im Jahre 1759 – flammte in Basel eine Pockenepidemie auf. Die Pocken waren wahrscheinlich seit dem Mittelalter in Basel endemisch. Sie wurden als etwas Selbstverständliches angesehen. Die Chronisten erwähnten sie nur, wenn sie besonders verheerend auftraten. Bernoulli überliefert uns in der vorliegenden Schrift als erster genaues Zahlenmaterial von einer Basler Pockenepidemie. Dieses hat er sich im Jahre 1759 von den praktizierenden Basler Ärzten beschafft und in seiner Arbeit mit den Erhebungen in den Großstädten Paris und London verglichen. Im § 2 lesen wir:

«Jetzt gerade herrscht seit neun Monaten hier in Basel eine Epidemie. Die Ärzte sagen, sie sei sehr ausgedehnt und ziemlich bösartig. Trotzdem – wenn ich mich auf einen unserer angesehensten Mediziner berufen darf – ist dabei kaum einer von 20 Kranken gestorben.»

und in § 6:

«Es scheint, daß in Paris mehr Leute fortgeschrittenen Alters der Krankheit unterliegen als hier in Basel. Hier herrscht seit acht bis neun Monaten eine Epidemie, die schon mehr als 600 Menschen befallen hat. Der älteste Patient, den ich habe nennen hören, war noch nicht 23 Jahre alt.»

Die letzte Notiz über die Basler Epidemie findet sich in § 10:

«Es scheint sogar, daß in jedem Lande die grundlegenden Tatsachen sich etwas ändern; anscheinend kommt es zum Beispiel hier in Basel seltener vor als in Paris, daß jemand 20 Jahre alt wird, ohne die Pocken durchgemacht zu haben. Andererseits glaube ich nicht, daß diese Krankheit hier mehr als einen Zwölftel der Erkrankten wegrafft, und daß nicht mehr als der zwanzigste Teil aller Todesfälle durch die Pocken bedingt ist.»

Um diese Zahlen etwas besser beurteilen zu können, müssen wir wissen, daß die Einwohnerzahl Basels in jener Zeit zwischen 14 000 und 15 000 Seelen betrug (nach Albrecht Burckhardt). Die erste genaue Volkszählung fand erst im Jahre 1779 statt. Wir sehen, daß damals die Morbidität¹ der Jugend in Basel höher, die Letalität jedoch geringer gewesen sein muß als in den Großstädten.

Bernoulli verzichtete aber bewußt darauf, sich auf dieses kleine, ihm direkt zugängliche Zahlenmaterial zu stützen. Ihm war klar, daß die großen Zahlen von Paris und London viel weniger dem Zufall unterworfen und darum viel zuverlässiger waren.

c) Kritische Würdigung der Bernoullischen Methode

Bereits früher wurde hervorgehoben, daß Daniel Bernoulli in der vorliegenden Arbeit als einer der ersten die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf ein Gebiet der medizinischen Statistik angewendet hat. Der Erfolg einer Maßnahme der prophylaktischen Medizin wird mit differenzierten mathematischen Methoden zu erfassen gesucht.

Die prophylaktische Medizin war an sich schon etwas Neues. Den Erfolg

¹ *Morbidität* (heutige Definition): Anzahl der pro Jahr von 100 000 Personen an einer bestimmten Krankheit erkrankten.

ihrer Maßnahmen konnte man nicht einfach am Krankenbett *ad oculos* demonstrieren. Um einen solchen zu erkennen, mußte man durch lange Beobachtungen nachweisen können, daß die Krankheitsfälle in einer vorbehandelten Bevölkerungsgruppe weniger zahlreich waren als in einer unbehandelten. Beim Auswerten der Zahlen war die Wahrscheinlichkeitsrechnung ein unschätzbares Hilfsmittel.

Eine der ersten Waffen der Präventivmedizin war die Inokulation der Pockenkrankheit. Es muß uns daher nicht wundern, daß sie Gegenstand der ersten angewandten statistischen Untersuchungen war. Im Gegensatz zu zwei Engländern, Nettleton¹ und James Jurin (1684–1750)² und dem Deutschen Süssmilch³, die ihren Lesern einfach vorrechneten, wie viel größer die Chance sei, an den natürlichen Pocken zu sterben als an den Folgen der Inokulation, setzte sich Daniel Bernoulli in klarer, überlegener Weise die Aufgabe, den Einfluß einer bestimmten epidemischen Krankheit – eben der Pocken – auf die Sterblichkeit einer Menschengeneration auszurechnen. Kannte man den Anteil der Sterblichkeit, der durch diese Seuche bedingt war, so wußte man auch den Gewinn, der bei konsequenter Durchführung der Inokulation zu erwarten war. Daß er seine Resultate mit Hilfe der neusten mathematischen Erkenntnisse auf äußerst elegante Weise gewann und in klaren, übersichtlichen Tabellen zusammenstellte, das wissen wir aus unserer Inhaltsübersicht.

Besonders glücklich war Daniel Bernoullis Idee, die Entwicklung der Sterblichkeit durch die Zu- oder Abnahme der mittleren Lebensdauer (*«vie moyenne»*) auszudrücken. Diesen Begriff hatte er vom politischen Arithmetiker Déparcieux übernommen, der ihn 1746 in seinem *«Essai sur les probabilités de la vie humaine»* geprägt hatte. In § 9 definiert ihn Bernoulli folgendermaßen:

«On sait ce qu'on appelle *vie moyenne*; on la trouve en prenant sur un grand nombre de personnes la somme des vies de chacun depuis sa naissance jusqu'à la mort et en divisant cette somme par le nombre des personnes.»⁴

Wir meinen heute genau das gleiche, wenn wir von der mittleren Lebenserwartung sprechen. Auch sie ist ein Maß, mit dem wir den Erfolg aller unserer hygienischen und therapeutischen Maßnahmen zu messen pflegen.

Die Zeitgenossen Bernoullis allerdings waren mit dem neuen Begriff noch kaum vertraut. Man wußte nicht viel anzufangen mit der bescheidenen Zunahme der mittleren Lebensdauer um knapp drei Jahre. Was bedeutete für den

¹ «Concerning the Inoculation of Small-pox, and the Mortality of the Distemper in the Natural Way.» *Philosophical Transactions* 32, 209 (1722).

² «A Comparison between the Danger of the Natural Small-Pox and of that Given by Inoculation.» *Philosophical Transactions* 32, 191, 213 (1722).

³ «Die göttliche Ordnung in den Veränderungen des menschlichen Geschlechts, aus der Geburt, dem Tode und der Fortpflanzung desselben erwiesen.» Berlin 1756.

⁴ «Man weiß, was man unter ‚mittlerer Lebensdauer‘ zu verstehen hat: Man findet diesen Wert, indem man eine große Zahl von Menschen nimmt, deren Lebensjahre von der Geburt bis zum Tode zusammenzählt und die erhaltene Summe durch die Zahl der Menschen teilt.»

Mann auf der Straße eine Lebensverlängerung von 2–3 Jahren, in deren Genuß er seiner Meinung nach doch erst im beschwerlichen Alter kam, gegenüber der Gefahr, in der Jugend an den Folgen der Inokulation zu sterben?

Zu Daniel Bernoullis Leidwesen focht auch ein gelehrter Kritiker mit ähnlichen Argumenten. Es war dies der Physiker und Mathematiker D'Alembert (1717–1783). Wir wissen von ihm bereits, daß er in ungewöhnlicher Weise gegen die ungeschriebenen Gesetze der Pariser Akademie verstoßen hatte und vor der Veröffentlichung von Bernoullis «Mémoire» mit seiner Kritik an die Öffentlichkeit getreten war. Es war nicht das erste Mal, daß die beiden Männer aufeinander stießen. Nach der Veröffentlichung von D'Alemberts hydrodynamischen Schriften, die zum Teil in scharfem Gegensatz zu den von Bernoulli in seiner «Hydrodynamik» vertretenen Ansichten standen, schrieb dieser am 7. Juli 1745 an Leonhard Euler ein äußerst scharfes Urteil über den jungen Nebenbuhler. Wir lesen in diesem Brief folgende Sätze:

«... und hab mit Verwunderung gesehen, daß außer wenigen Sachen in seiner Hydrodynamica nichts als eine impertinente Suffisance hervorleuchtete. Seine criteria sind bisweilen recht puerilisch und zeigen nicht nur, daß er kein sonderbarer Mann ist, sondern daß er es sogar niemals werden wird, indem seine praesumption viel zu groß, um von andern Leuten, und seine eigenen Einsichten viel zu gering, um von sich selbst etwas zu lernen.»¹

Dieses Urteil blieb in den Grundzügen von da an immer gleich. D'Alembert beteuerte zwar, seine Angriffe richteten sich nicht gegen die Inokulation an sich, sondern gegen den Versuch, ihre Vorteile mit Hilfe der Mathematik auszurechnen. Doch will uns scheinen, der Mann, der so unbarmherzig mit den sorgfältig begründeten Aussagen und Berechnungen von Bernoulli ins Gericht ging, könne nicht viel für die Inokulation übrig gehabt haben.

Sehen wir nun, was er in der Hauptsache an den Gedankengängen des «Essai d'une nouvelle analyse ...» auszusetzen hatte. Seiner Meinung nach schwebte der Inokulierte unmittelbar nach dem Aufpfropfen der Pockenlymphe wegen des Risikos dieses Eingriffes in größerer Gefahr, als wenn er ganz ruhig die natürlichen Pocken abwartete. Man müsse deshalb die Risiken der Inokulation und der natürlichen Pocken im gleichen kurzen Zeitabschnitt miteinander vergleichen. Gehe man aber so wie Daniel Bernoulli vor und stelle einfach den Gefahren der natürlichen Pocken den Gewinn des Kollektivs der Inokulierten in Form der Zunahme der mittleren Lebensdauer gegenüber, dann vernachlässige man zu sehr die Bedrohung des Einzelnen durch die Inokulation zugunsten des Staatsinteresses an einem längeren Leben der Untertanen. Der Einzelne aber sei durch unmittelbar bevorstehende Gefahren beunruhigt, währenddessen ihn im späteren Leben zu erwartende Vorteile wenig beschäftigten.

Die Inokulation barg neben den Vorteilen sicher auch Nachteile in sich. Einen gesunden, wohl vorbereiteten und unter verantwortungsbewußter ärzt-

¹ Text nach Fuss: «Correspondance mathématique et physique.» Petersburg 1843.

licher Kontrolle stehenden Organismus schützte sie, ohne ihn zu entstellen, vor der verheerenden Pockenkrankheit. War der Inokulateur aber ein Pfuscher und der inokulierte Organismus schwächlich, dann konnte auch die benigne Pockenkrankheit, die durch die Inokulation übertragen wurde, gefährlich werden.

Die Schwierigkeit bestand nun aber darin, diese Gefahr statistisch zu erfassen. Die einen nahmen an, die Inokulationskrankheit erstreckte sich über vier Wochen, und in ihren Augen gingen kurzweg alle Todesfälle bei den Inokulierten in dieser Zeit zu Lasten des Eingriffes. Die andern sahen die kritische Zeit als viel kürzer an und erhielten entsprechend niedrigere Zahlen. Nach dem einen Bericht starb 1 von 500, nach andern 1 von 375 Inokulierten. Ob die Todesursache jeweils überhaupt mit der Inokulation in Zusammenhang stand, das untersuchte niemand genau. Dazu wäre es nötig gewesen, große Serien von behandelten und unbehandelten Kindern zu beobachten und miteinander zu vergleichen.

Mögen die Zahlen aus dem eben erwähnten Grunde zu hoch erscheinen, so dürfen wir andernteils nicht vergessen, daß das statistische Bild dadurch verfälscht wurde, daß man im allgemeinen nur eine gesunde und kräftige Auswahl der Jugend inokulierte. Hätte man alle erfaßt, so wären die Opfer vielleicht häufiger geworden. Daniel Bernoulli hat sich ganz geschickt auf keinen der damals kursierenden Zahlenwerte festgelegt, sondern er berechnete einfach die obere Grenze des Risikos, bis zu der eine Inokulation sich überhaupt noch lohnte.

Wenn wir mit den heutigen Maßstäben messen, müssen wir ohne Zweifel zugeben, daß die Inokulation ein recht gefährlicher Eingriff war, und wir begreifen das Mißtrauen der Zeitgenossen. Wir wissen, wie entrüstet das Publikum reagierte, als in der neuesten Zeit die Impfungen gegen Kinderlähmung einige schwere Erkrankungen zur Folge hatten. Die Versuche mußten schleunigst eingestellt werden.

Dieser Vergleich hinkt allerdings: Die heutige relativ geringe Morbidität an Poliomyelitis dürfen wir auf keinen Fall mit der unheimlichen Verbreitung der Pockenkrankheit im 18. Jahrhundert vergleichen. Bei deren Bekämpfung lohnte sich ein viel größerer Einsatz. Die Inokulation war daher trotzdem ein nützlicher und viel Unheil verhütender Eingriff.

Den Nutzen konnte man allerdings erst richtig ermessen, wenn man seine Auswirkungen aufs Volksganze kannte. Bernoullis Arbeit deckte nun eine erste Möglichkeit auf, den Vorteil, den ein Staatswesen von der konsequenten Durchführung einer Maßnahme der prophylaktischen Medizin erwarten durfte, in Zahlen auszudrücken. Sie war dazu angetan, das Verantwortungsgefühl des Einzelnen gegenüber dem Volksganzen reifen zu lassen und ihn zur Einsicht zu führen, daß im modernen Staate beim konsequent durchgeführten Kampf

gegen die Seuchen der Gewinn der Gesamtheit zugleich auch derjenige des einzelnen Bürgers sei. D'Alemberts Kritik nahm sich dagegen kleinlich aus. Sie ermunterte dazu, um des momentanen Vorteils und der Bequemlichkeit des Einzelnen willen auf eine große gemeinsame Anstrengung zu verzichten.

Übersehen wir jedoch nicht, daß wir an einem gefährlichen Wendepunkt stehen. An einer Stelle seiner «Refléxions sur les avantages de l'inoculation» schreibt Bernoulli, daß alle Menschen, die nicht aus besserer Einsicht der Inokulation sich unterzögen, wie Kinder dazu geführt werden müßten. Hier wird, in bester Absicht, der staatlichen Bevormundung des Bürgers auf dem Gebiete der Gesundheitspflege das Wort geredet. Was man bis vor kurzem der göttlichen Allmacht überlassen hatte, das sollte nun der allmächtige Staat tun und seine Interessen zu wahren suchen, von denen man stillschweigend voraussetzte, daß sie auch diejenigen des Einzelnen seien. Der Einbruch in die intimsten Sphären der Persönlichkeit durch die Staatsgewalt, den wir heute immer wieder mit steigendem Unbehagen erleben, bahnt sich hier langsam an. Eine befriedigende Lösung der hier auftauchenden Probleme haben wir bis heute nicht gefunden und werden sie auch kaum je finden, solange wir mit der Machtgier des Staates auf der einen, der Verantwortungslosigkeit und Sorglosigkeit des Individuums auf der andern Seite rechnen müssen.

Welche Gefahren hier lauern, erkennen wir am besten an verschiedenen Stellen in den «Refléxions» und dem «Essai d'une nouvelle analyse ...», wo selbst der feine und geistvolle Daniel Bernoulli die materiellen Interessen des Staates an einer Verlängerung der durchschnittlichen Lebenserwartung außerordentlich stark in den Vordergrund rückt. An einem Ort rechnet er aus, um wieviel die Steuereinnahmen des französischen Staates sich vermehrten, wenn die jungen zukünftigen Steuerzahler nicht mehr von den Pocken weggerafft würden. Auch dort werden wir von seinem Gedankengang abgestoßen, wo er erklärt, die Inokulation lasse sich auch dann noch rechtfertigen, wenn ihre Opfer bei den behandelten Kleinkindern so zahlreich wären, daß keine Verlängerung der Lebenserwartung daraus resultierte. Was ihn zu diesem überraschenden Schluß führt, ist die Überlegung,

«daß der Verlust sich nur auf die für die Gesellschaft unnützen Kinder auswirkt, während der ganze Gewinn dem wertvollsten Alter zugute kommt» (§ 14).

Streifen wir noch kurz die weiteren Einwände D'Alemberts zu Bernoullis «Mémoire». Die Verhältniszahlen, die der Basler Gelehrte gebraucht, um die Morbidität und Letalität der Pocken zu erfassen, tut er als völlig unbegründet ab. Etwas Besseres an ihre Stelle zu setzen, vermag er jedoch nicht. Wir haben weiter oben gesehen, daß die Zahlen sicher nicht jeder Kritik standhalten. Sie wurden jedoch bei der mathematischen Behandlung der Probleme so geschickt eingesetzt, daß die damit erzielten Resultate ganz brauchbar waren.

Schließlich äußert Bernoullis Gegner noch ein anderes Bedenken: Die In-

okulation könnte die Menschen im spätern Alter für andere schwere Krankheiten anfällig und so die angebliche Zunahme der mittleren Lebenserwartung wieder illusorisch machen. Dem darf man wohl entgegenhalten: Es wäre höchst sonderbar, wenn die benigne Art der Pocken, wie sie bei der Inokulation übertragen würde, eine erhöhte Krankheitsanfälligkeit bewirken sollte, von der man nach den natürlichen Pocken noch nie etwas beobachtet hatte.

Mit diesem letzterwähnten Angriff auf die Grundlagen von Bernoullis «Mémoire» hat D'Alembert einem tief im Denken des einfachen Volkes verwurzelten Mißtrauen Ausdruck gegeben, das auch heute noch jede tiefer in den Organismus eingreifende Maßnahme der Präventivmedizin beargwöhnt. Vielleicht entsprang es in jener Zeit der unbewußt weiterlebenden Auffassung, daß die epidemischen Krankheiten eine Strafe Gottes seien, die den sündigen Menschen dann eben in anderer Gestalt treffe.

Alle die kritischen Äußerungen D'Alemberts können sicher das eine nicht wegleugnen, daß Bernoullis Schrift einer der ersten ernst zu nehmenden Versuche ist, auf einem Gebiete der Statistik eine Synthese zu schaffen zwischen dem aus langen Beobachtungen gewonnenen Zahlenmaterial und den modernen Methoden der Mathematik.

Als Eduard Jenner im Jahre 1796 die erste Pockenschutzimpfung mit Hilfe der Kuhpockenvakzine durchführte, verlor Bernoullis «Essai» die unmittelbare praktische Bedeutung. Die neue Impfmethode sollte in kurzer Zeit ungleich populärer werden als die Inokulation. Ihre Gefahren waren unbedeutend und das technische Vorgehen sehr viel einfacher. Sicher profitierte die Vakzination aber auch von der Vorarbeit, die die unentwegten Anhänger der Inokulation in den vorangehenden Jahrzehnten geleistet hatten. Auf alle Fälle hatten sie mit manchem Vorurteil und Widerstand gegen die Durchführung prophylaktischer medizinischer Maßnahmen aufgeräumt.

Das darin entwickelte originelle mathematische Gedankengut rettete Bernoullis «Mémoire» vor dem völligen Vergessen. 50 Jahre später griff ein Genfer Gelehrter, E. E. Duvillard (1755–1832), sie wieder auf. In enger Anlehnung an Bernoullis mathematisches Vorgehen schrieb er seine «Analyse et Tableaux de l'influence de la petite vérole sur la mortalité à chaque âge et de celle qu'un préservatif, tel que la vaccine, peut avoir sur la population et la longévité» (Paris 1806). Die zugrundeliegenden Totentafeln und die Verhältniszahlen der Morbidität und Letalität waren zwar nicht die gleichen wie bei Bernoulli. Doch auch Duvillard kam zum abschließenden Resultat, daß die durchschnittliche Lebenserwartung der Menschen bei völliger Ausrottung der Pocken um ungefähr drei Jahre ansteigen würde. Ein Risiko der Kuhpockenvakzination brauchte er nicht mehr einzuberechnen.

Pierre Simon de Laplace (1749–1827) hat die Wahrscheinlichkeitsrechnung ganz in den Dienst der praktischen Statistik gestellt. Er entwickelte schon

Methoden, um die Signifikanz statistischer Resultate mathematisch zu prüfen. In seinem «*Essai philosophique sur les probabilités*» (1814) erwähnt er recht ausführlich Daniel Bernoullis «*Essai d'une nouvelle analyse ...*». Damit ist dieser an verdientem Platz nochmals erwähnt, nämlich am Ausgangspunkt der sich seither ungeheuer entwickelnden modernen Statistik.

3. De Duratione media matrimoniorum

Im Jahre 1768 publizierte Daniel Bernoulli in den Kommentaren der Petersburger Akademie eine zweite Arbeit statistischen Inhalts. Sie trug den Titel: «*De Duratione media matrimoniorum pro quacumque conjugum aetate aliisque quaestionibus affinibus*» (Die mittlere Dauer der Ehen für jedes Alter und andere verwandte Fragen). Mit Hilfe der Tabellen von Halley war es möglich geworden, die mittlere Lebenserwartung der Menschen für jedes Alter genau zu bestimmen. Bernoulli glaubte nun eine wichtige Lücke zu schließen, wenn er die mittlere Dauer der Ehen zu berechnen suchte. Diese Arbeit hielt er für ähnlich wertvoll, wie seine Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Pockensterblichkeit und Inokulation.

Zuerst bemängelt er die Dürftigkeit der zeitgenössischen Eheregister. Er deutet dann kurz an, wie man sich diese vorzustellen hätte:

«Es wäre wünschenswert, daß bei jeder Trauung zusätzlich eingetragen würde in arabischen Zahlen das Alter der beiden Ehepartner und in römischen Zahlen, ob es sich um die erste, zweite oder gar dritte Ehe der Braut oder des Bräutigams handle. Aus so angelegten Eheregistern könnte man sehr gut die Gewohnheiten erkennen, die sich in diesen Dingen in den verschiedenen Völkern und Städten eingebürgert haben, die man dann, wenn sie nicht mit den politischen Grundsätzen im Einklang stehen, auf kluge Weise bekämpfen konnte.»¹

Hierauf begleitet unser Autor 500 gleichaltrige Ehepaare bis ins hohe Alter. Er nimmt dabei an, daß beide Partner im Moment der Eheschließung 20 Jahre alt seien und daß Mann und Frau im Laufe ihres Lebens die gleiche Sterblichkeit aufwiesen. Wie viele von den insgesamt 1000 Eheleuten jedes Jahr sterben, das leitet Bernoulli wiederum aus den Totentafeln von Halley ab, deren Zahlenwerte er im richtigen Verhältnis vergrößert. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung, verbunden mit neuester mathematischer Methodik, erlaubte ihm, die Zahl der Überlebenden zu differenzieren in Eheleute, Witwen und Witwer. Seine Ergebnisse finden wir in einer Tabelle zusammengestellt, die wir hier aufführen wollen.

¹ «*Quippe optandum foret pro quovis connubio, ut adiecto numero arabico utriusque desponsati aetas alioque numero romano indicaretur, num nuptias primas vel secundas aut etiam tertias celebraverit nuptus aut nupta. Ex tabulis matrimonialibus ita conditis optime intelliguntur in ista re consuetudines in diversas gentes diversasque urbes introductae, quae si minus forte cum axiomatibus politicis conveniant prudenter oppugnari possunt.*»

Alter in Jahren	Über- lebende	Erhaltene Ehen	Witwen und Witwer	Alter in Jahren	Über- lebende	Erhaltene Ehen	Witwen und Witwer
20	1000	500	0	55	488	118	252
21	990	410	10	56	471	110	251
22	980	480	20	57	454	103	248
23	970	470	30	58	437	95	247
24	960	461	38	59	421	88	245
25	948	450	48	60	404	81	242
26	936	439	58	61	387	75	237
27	924	427	70	62	370	69	232
28	913	416	81	63	354	63	228
29	901	406	89	64	338	57	224
30	888	395	98	65	321	52	217
31	875	384	107	66	304	47	210
32	861	372	117	67	287	42	203
33	848	360	128	68	270	37	196
34	834	348	138	69	254	32	190
35	819	336	147	70	237	28	181
36	804	324	156	71	219	24	171
37	789	312	165	72	200	20	160
38	774	300	174	73	182	16	150
39	759	288	183	74	164	13	138
40	744	276	192	75	147	10	127
41	729	265	199	76	130	8	114
42	714	254	206	77	114	6	102
43	698	243	212	78	98	4	90
44	681	232	217	79	82	3	76
45	664	221	222	80	69	2	65
46	647	210	227	81	57	2	53
47	631	199	233	82	47	1	45
48	614	188	238	83	39	1	37
49	597	178	241	84	33	1	31
50	579	168	243	85	27	0	27
51	560	157	246	86	22	0	22
52	541	147	247	87	17	0	17
53	523	137	249	88	13	0	13
54	505	127	251	89	9	0	9

Die aus dieser Tabelle hervorgehenden Zahlenwerte für die mittlere Dauer der Ehen hat Bernoulli in einer kleinen Tafel (s. S. 95) zusammengefaßt.

Da nun aber die Ehen sehr oft zwischen ungleichaltrigen Partnern geschlossen werden, schließt Bernoulli seine Arbeit mit den entsprechenden Zahlenlisten für diesen Fall. In dem von ihm gewählten Beispiel ist die Frau 20 Jahre jünger als der Mann. Dadurch wird natürlicherweise die Zahl der Witwen größer und die mittlere Dauer der Ehen sinkt ab. Wir verzichten darauf, die vielen Zahlenreihen hier anzuführen, da sie uns nichts grundsätzlich Neues vermitteln.

Alter in Jahren	Mittlere Dauer der Ehen
20	23 Jahre 10 Monate
25	21 Jahre 3 Monate
30	18 Jahre 10 Monate
35	16 Jahre 8 Monate
40	14 Jahre 9 Monate
45	12 Jahre 10 Monate
50	11 Jahre 1 Monat
55	9 Jahre 9 Monate
60	8 Jahre 1 Monat
65	6 Jahre 2 Monate
70	4 Jahre 6 Monate
75	3 Jahre 4 Monate
80	3 Jahre 0 Monate

Außer der Geburt und dem Tode wandte sich das Interesse der politischen Arithmetiker immer mehr auch der Ehe als dem Ausgangspunkt der menschlichen Fortpflanzung zu. Man behandelte vor allem Fragen der Ehefruchtbarkeit und suchte alle Faktoren zahlenmäßig zu erfassen, die diese beeinträchtigten. So konnte der politische Arithmetiker zum Ratgeber der regierenden Fürsten werden. Diese waren der Ansicht, daß eine dichte Bevölkerung die beste Garantie sei für Reichtum, Macht und Größe eines Staates. Schrieb doch Friedrich der Große einmal:

«Es ist ein Axiome certain, daß die Zahl der Menschen den Reichtum des Staates ausmacht» (Oeuvres IV, 4 und VI, 32).

Daniel Bernoullis «De duratione media matrimoniorum» war ein origineller Beitrag auf dem Gebiete der Ehestatistik. Die Idee, hier die Wahrscheinlichkeitsrechnung anzuwenden, stammt sicher von ihm. Es lag ihm daran, wieder ein Musterbeispiel zu liefern, aus dem man ersehen konnte,

«daß innerhalb des menschlichen Geschlechts die verschiedensten Wechselbeziehungen herrschen, die allein durch eine Rechnung genauer und besser festgehalten werden können, als dies bisher mit unendlich vielen Beobachtungen gelungen ist» («... multas esse in genere humano variationes atque vicissitudines, quae solo calculo accuratius et melius determinari possint, quam innumeris adhuc observationibus fieri potuit» (§ 20c).

Ob damit in diesem speziellen Fall wirklich ein sozialpolitisch wichtiges Problem gelöst wurde, ist eine andere Frage. Uns will scheinen, das Resultat wäre erst einigermaßen interessant geworden, wenn man die mittlere Dauer der Ehen für verschiedene soziale Klassen ausgerechnet hätte. So ging als einzige, praktisch vielleicht verwertbare Erkenntnis aus Bernoullis Untersuchungen hervor, daß ein Staat besser fährt, wenn seine Bürger jung heiraten, weil dann die Ehen zahlreicher, länger dauernd und dementsprechend auch fruchtbarer sind.

Die praktische Bedeutung der Schrift muß dem kritischen Leser vollends problematisch erscheinen, wenn er erkennt, auf wie vielen Hypothesen und

unzulässigen Vereinfachungen die Berechnungen aufgebaut sind. Einverstanden, mit Hilfe der Mathematik kann der Statistiker zu neuen verblüffenden Schlüssen gelangen. Bei seinen mathematischen Analysen muß er sich aber auf langjähriges, sorgfältiges und mühseliges Beobachten und Registrieren stützen können.

Wenn man zuverlässige Resultate erhalten will, so ist es in unserm Falle nicht angängig, die allgemeine Sterblichkeit von Mann und Frau einander einfach gleichzusetzen, wie Bernoulli es getan hat. Woher weiß Bernoulli weiterhin so genau, daß verheiratete und ledige Menschen die gleiche Lebenserwartung haben? Könnte es nicht sein, daß verheiratete Frauen viel größeren Gefahren ausgesetzt sind als unverheiratete? Vielleicht ergäben sich hier gewisse Modifikationen der Halleyschen Totentafeln.

Doch wir wollen hier nicht weiterfahren, alle die dem heutigen Statistiker auffallenden Fehler kritisch zu zerpfücken. Es waren ganz einfach, wie schon im *«Essai d'une nouvelle analyse ...»*, die geeigneten statistischen Grundlagen, die fehlten und die durch eigene Erhebungen zu ergänzen Daniel Bernoulli in den Basler Verhältnissen schlechterdings unmöglich war. Wohl gab es auch in seiner Vaterstadt Männer, wie etwa den Professor praxeos J. R. Zwinger (1692 bis 1777), die um die Bedeutung statistischen Arbeitens wußten und ihm ihre Unterstützung sicher geliehen hätten. Aber das genügte nicht. Da hätte auch der Staat zu Hilfe kommen müssen. Mitte der sechziger Jahre war in dem schwerfälligen Gemeinwesen eben wieder ein Versuch im Sand verlaufen, von Staats wegen in Stadt und Land ausführlichere Totenregister anlegen zu lassen. Daniel II Bernoulli, der Neffe unseres Daniel, mußte sich die Unterlagen zu seiner 1771 eingereichten statistischen Doktorarbeit (*Specimen inaugurale de usu medico tabularum baptismalium*) zum Teil in den Rodeln des stadtnahen Bauerndorfes Biel-Benken holen!

So ist also Daniel Bernoullis zweite statistische Schrift ein originell angewandtes Rechenexempel? Nein, wir werden ihr nur gerecht, wenn wir sie als einen Schritt auf dem Entwicklungswege von der politischen Arithmetik zur modernen Statistik hin betrachten.

Die ersten politischen Arithmetiker hatten mit einfachster mathematischer Methodik dem Grundgedanken der Leibnizschen Theodizee, von der Erde als der besten der möglichen Welten, vollends zum Durchbruch verholfen. Die Harmonie und Gesetzlichkeit, die durch die Entdeckungen der Astronomie und Physik im Weltengeschehen zutage getreten war, herrschte auch im Werden und Vergehen der Menschen.

Die politischen und industriellen Revolutionen zu Beginn des 19. Jahrhunderts hatten neue gewaltige Aufgaben für die noch junge Disziplin der politischen Arithmetik oder Statistik, wie man sie jetzt nannte, im Gefolge. Im Dienste der empirischen Wissenschaften trat diese einen stürmischen Sieges-

zug an, besonders in der modernsten Zeit. Dazu war sie allerdings erst fähig geworden, nachdem ihr in einem langsamen Entwicklungsprozeß die nötigen Hilfsmittel in die Hand gegeben worden waren. Deren wertvollstes war ohne Zweifel die Wahrscheinlichkeitsrechnung. Sie erlaubte es, ein Geschehen zu beurteilen, welches gewissen Grundgesetzen gehorchte, daneben aber auch noch von unbekannten Faktoren beeinflußt wurde. Zu den ersten, die die Bedeutung der Probabilitätsrechnung für die Statistik erfaßt haben, gehörte Daniel Bernoulli. Die beiden von uns besprochenen statistischen Schriften legen davon Zeugnis ab. Was hier Daniel Bernoulli begonnen hat, dem konnte Pierre Simon Laplace ein halbes Jahrhundert später zu vollem Durchbruch verhelfen.

IV. ZUSAMMENFASSUNG

Daniel Bernoulli (1700–1782) war der zweite Sohn des berühmten Mathematikers Johann I Bernoulli (1667–1748). Sein Vater und der Onkel Jakob I (1654–1705) hatten den Ruhm der Mathematikerfamilie Bernoulli begründet. Daniel selbst ging als einer der führenden Vertreter der mathematischen Physik in die Geschichte ein. Sein Brotstudium jedoch war die Medizin. Auf dem Lehrstuhl für Anatomie und Botanik unterrichtete er 13 Jahre lang die Basler Medizinstudenten. Erst 1750 wählten ihn die Behörden seiner Vaterstadt zum Professor für Physik.

Wenn auch seine mathematischen und physikalischen Studien Daniel Bernoulli zeitlebens am meisten beschäftigten, so interessierte er sich doch immer wieder für Fragen der menschlichen Physiologie. Besonders diejenigen Vorgänge im Bereiche des menschlichen Organismus reizten ihn zu näherer Untersuchung, die er mit den ihm zur Verfügung stehenden modernsten Mitteln der Mathematik und Physik zu erhellen hoffte. Davon zeugen einige neben dem imponierenden physikalischen Lebenswerk ganz in den Hintergrund tretende physiologische Publikationen. Aber auch die rein physikalischen Schriften Bernoullis brachten dem Physiologen manche Anregung. Vor allem ist hier die Hydrodynamik zu nennen.

In der Reihenfolge, wie sie in der vorliegenden Schrift behandelt wurden, seien hier die direkten und indirekten Beiträge Bernoullis auf den einzelnen Gebieten der Physiologie nochmals kurz skizziert.

Als junger Doktorand versuchte Daniel in seiner Inauguraldissertation (1721) den ganzen komplexen Vorgang der Atmung in außerordentlich geschlossenen und klaren Darlegungen nach rein physikalischen Gesichtspunkten zu erklären.

Daneben fesselte ihn das Phänomen der Muskelbewegung. Seine 1726 entwickelte Theorie der Muskelbewegung verzichtete auf alle chemisch wirksamen Kräfte in den Muskeln und glaubte, deren Kontraktion auf rein mechanische Veränderungen in der Struktur zurückführen zu können.

Im gleichen Jahre 1726 teilte Bernoulli auch eine originelle Methode mit, die Ausdehnung des blinden Flecks im Auge zu bestimmen.

Bernoullis «Hydrodynamik» (1738) war eine erste zusammenfassende Darstellung der Gesetzmäßigkeiten, denen bewegte Flüssigkeiten gehorchen. Das Blut im Kreislaufsystem ist aber nichts anderes als bewegte Flüssigkeit. Dem zeitgenössischen, physiologisch interessierten Leser von Bernoullis Monographie mußte es sofort klar werden, daß ihm hier die Möglichkeit gegeben

wurde, die Druck- und Strömungsverhältnisse zu erfassen, und daß das Phänomen des Pulses erstmals eine theoretische Erklärung fand. Bisher wenig beachtete hämodynamische Schriften von François Boissier de Sauvages (1706 bis 1767) und Johann Rudolf Stähelin (1724–1800) zeigen, daß einzelne Ärzte die sich hier bietenden Möglichkeiten richtig erkannt haben.

Bernoullis interessanteste physiologische Untersuchungen machten sich die Berechnung der Herzarbeit zur Aufgabe. Er führte dabei den eben erst geschaffenen physikalischen Begriff der Arbeit in die Physiologie ein. Seine ersten mangelhaften Ergebnisse trug er 1737 in einer Promotionsrede vor. Gestützt auf neue experimentelle Grundlagen wiederholte er einige Jahre später seine Berechnungen und gelangte zu Resultaten, die ganz nahe an den heute gültigen Werten stehen.

In der Hydrodynamik und in seiner 1753 von der Pariser Akademie preisgekrönten Arbeit: «Recherches sur la manière la plus avantageuse de suppléer à l'action du vent sur les grandes vaisseaux» wagte sich Daniel Bernoulli mit der Bearbeitung arbeitsphysiologischer Fragen auf bisher kaum betretenes Neu-land. Besonders in der Preisarbeit von 1753 suchte er die Leistungsfähigkeit des einzelnen Individuums zahlenmäßig zu erfassen. Er erhob die Forderung nach strenger Rationalisierung aller Arbeitsprozesse.

Wollen wir Daniel Bernoullis physiologisches Schaffen klassieren, so müssen wir ihn zu den Iatromechnikern zählen, d. h. zu den medizinischen Forschern, die im 17. und zu Beginn des 18. Jahrhunderts den Ablauf aller Funktionen des menschlichen Organismus mit Hilfe der Physik im Detail zu erfassen suchten. Dadurch daß Bernoulli nur Probleme in Angriff nahm, bei denen sich die Behandlung mit physikalischen Methoden geradezu aufdrängte, hat er sich nirgends in allzu fruchtlose Spekulationen verstiegen, wie es andere seiner physikalisch denkenden Kollegen taten.

In seinem späteren Leben war Daniel Bernoulli medizinisch-statistischen Fragen gegenüber besonders aufgeschlossen, bei deren Behandlung ihm auch wieder seine profunden mathematischen Kenntnisse zugute kamen.

Am Übergang vom 17. zum 18. Jahrhundert hatte sich die Statistik zur exakten Wissenschaft entwickelt. Die rein beschreibende deutsche Universitätsstatistik wurde immer mehr von der «politischen Arithmetik» abgelöst. Diese gab sich nicht mehr mit dem einfachen Sammeln von Zahlen zufrieden, sondern sie suchte aus dem zusammengestellten Zahlenmaterial auf dem Wege der Folgerung neue Erkenntnisse zu gewinnen.

1760 legte Daniel Bernoulli der Pariser Akademie seine Abhandlung: «Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole et des avantages de l'Inoculation pour la prévenir» vor. Darin stellte er als einer der ersten die Statistik in den Dienst der Präventivmedizin. Der Vorteil wurde hier in Zahlen darzustellen versucht, der einer Bevölkerung aus der konsequenten

Durchführung der Pockeninokulation erwuchs. Diese vor nicht sehr langer Zeit von den Völkern des Ostens übernommene Bekämpfungsart der Pocken, bei der man durch Injektion des Inhaltes einer Pockenpustel unter die Haut eine immunisierende leichte Pockenkrankheit erzeugte, war in Europa eben heiß umstritten. Mit Hilfe der von seinem Onkel Jakob theoretisch begründeten Wahrscheinlichkeitsrechnung und der Sterbetafeln von Halley (1656–1742) errechnete Daniel, daß die mittlere Lebenserwartung aller Menschen, bei allgemeinem Inokulieren der Kinder, um ungefähr 3 Jahre ansteigen würde. Bernoullis Zeitgenossen waren für diese Denkweise, die dem einzelnen im Interesse der Gesamtheit zumutete, ein gewisses Risiko auf sich zu nehmen, noch nicht reif. Es fehlte deshalb auch nicht an harter Kritik.

Eine zweite statistische Arbeit Bernoullis berechnete die mittlere Dauer der Ehen für verschiedene Alter der beiden Ehegatten. Auch hier stützte sich der Autor auf das Wahrscheinlichkeitskalkül. Die Grundlagen dieser Schrift sind aber allzu sehr vereinfacht und zum Teil rein hypothetisch, so daß ihre praktische Bedeutung dementsprechend sehr gering ist.

LITERATURVERZEICHNIS

Historische und medizinhistorische Darstellungen allgemeinen Inhalts

- Aschoff, Ludwig, und Diepgen, Paul:* Kurze Übersichtstabelle zur Geschichte der Medizin. Berlin 1945.
Boruttan, H.: Geschichte der Physiologie und ihrer Anwendung auf die Medizin bis zum Ende des 19. Jahrhunderts. Handbuch der Geschichte der Medizin, Band 2. Jena 1903.
Burckhardt, Albrecht: Geschichte der medizinischen Fakultät zu Basel 1460–1900. Basel 1917.
Daremborg, Charles: Histoires des sciences médicales. Tom. II. Paris 1870.
Fischer, Johann Carl: Geschichte der Physik. 3 Bände. Göttingen 1801–1808.
Fueter, Eduard: Geschichte der exakten Wissenschaften in der schweizerischen Aufklärung. Aarau 1941
Gerland, Ernst: Geschichte der Physik. München/Berlin 1913.
Heusler, Andreas: Geschichte der Stadt Basel. Basel 1920.
Haeser, Heinrich: Geschichte der Medizin und der epidemischen Krankheiten. Band 2 und 3. Jena 1881.
Laue, Max: Geschichte der Physik. Bonn 1947.
Meyer-Steineg, Th., und Sudhoff, C.: Geschichte der Medizin im Überblick. Jena 1921.
Fuschmann, Theodor: Handbuch der Geschichte der Medizin. Band 1–3. Jena 1902–1905.
Rosenberger, Ferdinand: Die Geschichte der Physik in Grundzügen. Band 2. Braunschweig 1882–1890.
Rothschub, K. E.: Geschichte der Physiologie. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1953.
Schaub, Emil: Aus dem Leben des Basler Kaufmanns im 18. Jahrhundert. 94. Neujahrsblatt. Basel 1916.

Biographische Schriften

- Bernoulli, Daniel II:* Vita immortalis viri Danielis Bernoulli. Basel 1783.
Condorcet, M. Jean: Eloge de Daniel Bernoulli. Mémoires de l'Académie royale des sciences. Paris 1782.
Gedenkbuch der Familie Bernoulli zum 300. Jahrestag ihrer Aufnahme in das Basler Bürgerrecht. Basel 1922.
Merian, Peter: Die Mathematiker Bernoulli. Basel 1860.
Spieß, Otto: Die Mathematiker Bernoulli. Basel 1948.
Wolf, Rudolf: Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz. 4 Bände. Zürich 1860.

Daniel Bernoulli als Anatom und Physiologe

Handschriftliche Quellen

- Bernoulli, Daniel:* Briefe an Gabriel Cramer: 14. Mai 1738: Orig. Genf. Un. MS Suppl. 384; 6. Dezember 1739: Orig. Genf. Un. MS Suppl. 384; unbekanntes Datum: Eigenhändige Kopie Un.Bibl. Basel L Ia 676, 79.
Bernoulli, Daniel: Briefe an Jallabert 1733–1750. Orig. Genf. Société d'Histoire Nr. 243.
Bernoulli, Daniel: Schemata Lectionum anatomicarum. Un.Bibl. Basel, Bern, Gotha E Nr. 26.
Cramer, Gabriel: Brief an Daniel I Bernoulli vom 23. September 1738. Orig. Un.Bibl. Basel L Ia, 686, 789.

Von allen erwähnten Briefen befinden sich maschinengeschriebene Kopien im Besitze der Universitätsbibliothek Basel.

Gedruckte Quellen

- Bernoulli, Daniel:* Dissertatio de respiratione. Diss. med. Basel 1721. (Inauguraldissertation, abgedruckt auch in Hallers Disputationes anat. selectae IV.)
Bernoulli, Daniel: Experimentum circa nervum opticum. Comment. academiae scientiarum imperialis Petropolitanae. Tom. I, 1726, p. 297–313.
Bernoulli, Daniel: Hydrodynamica. Straßburg 1738.

- Bernoulli, Daniel*: Positiones miscellaneae medico-anatomico-botanicae. Diss. med. Basel 1721.
- Bernoulli, Daniel*: Recherches sur la manière la plus avantageuse de suppléer à l'action du vent sur les grands vaisseaux etc. Recueil des pièces qui ont remporté le prix de l'Académie royale des sciences. Tom. VII. 99 Seiten. Paris 1753.
- Bernoulli, Daniel*: Tentamen novae de motu musculorum theoriae. Comment. academ. Petropolit. Tom. I, 1726, p. 297–313.
- Bernoulli, Daniel*: De Vita. Promotionsrede. Herausgegeben und mit Anmerkungen versehen von O. Spiess und F. Verzá. Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel. Band 52, p. 189ff. 1941.
- Bernoulli, Johann*: Dissertatio inauguralis physico-anatomica de motu musculorum. Diss. med. Basel 1694. (Abgedruckt auch in Borelli, «De motu animalium». Neapel 1734.)
- Bernoulli, Johann*: De effervescentia et fermentatione. Diss. med. Basel 1690. (Abgedruckt auch in «De motu animalium», Neapel 1734.)
- Bernoulli, Johann*: De nutritione. Disput. med.-phys. Groningen 1699. (Abgedruckt auch in Tempe helvet. Tom. 1, 1735, p. 93–128.)
- Borelli, Alfons*: De motu animalium. Rom 1680/81.
- Borelli, Alfons*: Die Bewegung der Tiere, übersetzt und mit Anmerkungen versehen durch Max Mengerlinghausen. Leipzig 1927.
- Fuss, P. H.*: Correspondance mathématique et physique. Petersburg 1843.
- Hales, Stephen*: Haemostatique ou la statique des animaux, ins Französische übersetzt und mit Anmerkungen versehen von F. B. de Sauvages. Genf 1744. – Im gleichen Band: *Sauvages, F. B.*: Sur l'inflammation, p. 201–283; Sur la cause de fièvre, p. 292–340.
- Sauvages, François Boissier de*: Anatomico-hydraulicae observationes de arteriarum pulsatione. Nova acta physico-medica Acad. Caes. Leopoldino Carolinae Nat. Curios., p. 128–141, Nürnberg 1757.
- Sauvages, François*: Nosologia methodica. Amsterdam 1763.
- Sauvages, François*: Pathologia methodica. Amsterdam 1752.
- Stähelin, Johann Rudolf*: Dissertatio physico-medica de pulsibus. Diss. med. Basel 1741. (Abgedruckt auch in Disp. anat. selectae IV.)

Darstellungen

- Bastholm, E.*: The history of muscle physiology. Kopenhagen 1950.
- Burckhardt, Fritz*: Über die physikalischen Arbeiten der Societas physico-anatomico etc. Basel 1867.
- Boruttan, Heinrich*: Die Arbeitsleistungen des Menschen. Berlin 1916.
- Buess, Heinrich*: Zur Entwicklung der Irritabilitätslehre. Festschrift für J. Brodbeck-Sandreuter, p. 199–233, Basel 1942.
- Buess, Heinrich*: Zur Geschichte der Atmungslehre. Ciba-Zeitschrift Nr. 91, p. 3194. Basel 1943.
- Buess, Heinrich*: Notizen zur Geschichte der Sphygmographie. Experientia, Vol. III, p. 165, 1947.
- Diepgen, Paul*: Das physikalische Denken in der Geschichte der Medizin. Stuttgart 1939.
- Hirschberg, Julius*: Geschichte der Augenheilkunde. 3. Buch, 1. Teil. Leipzig 1906.
- Kolb, Werner*: Geschichte des anatomischen Unterrichts an der Universität Basel 1460–1900. Basel 1951.
- Schmid, A.*: Zur Geschichte der Elektrotherapie vom Altertum bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts. Festschrift für J. Brodbeck-Sandreuter. Basel 1942.
- Socin, Abel*: Anfangsgründe der Elektrizität. Hanau 1777.
- Socin, Abel*: Tentamina electrica in diversis morborum generibus. Acta helvetica physico-mathematico-botanico-medica, vol. 4, p. 214–230, 1760.
- Stähelin, Felix*: Die Geschichte der Basler Familie Stehelin und Stähelin. Basel 1903.
- Haller, Albrecht*: Disputationes anatomicae selectae. Göttingen 1748.
- Haller, Albrecht*: Deux mémoires sur le mouvement du sang. Lausanne 1756.
- Haller, Albrecht*: Elementa physiologiae. Tom. 1–5. Lausanne 1757–1763.

Daniel Bernoulli als Statistiker und Epidemiologe

Handschriftliche Quellen

- Condamine, Charles Marie de la*: Briefe an Daniel Bernoulli. Orig. Un.Bibl. Basel L Ia 685.

Gedruckte Quellen

- Alembert, Jean Le Rond d'*: Opusculs mathématiques. Tom. 2 und 4. Paris 1762 und 1768.
- Bernoulli, Daniel*: De Duratione media matrimoniorum Nov. Comment. acad. Petropolit. Tom XII, p. 99–126. Petersburg 1768.
- Bernoulli, Daniel*: Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole et des avantages de l'Inoculation pour la prévenir. Histoire de l'académie royale des sciences etc. Paris 1760, p. 1–81. Mém. de l'académie royale des sciences. Paris 1760, p. 1–45.
- Bernoulli, Daniel*: Reflexions sur les avantages de l'Inoculation. Mercure de France, Juni 1760.
- Bernoulli, Daniel II*: Specimen inaugurale de usu medico tabularum baptismalium. Diss. med. Basel 1771.
- Bernoulli, Johann III*: Oratiuncula de Insitione variolarum. (Abgedruckt in Epist. viror. erudit. ad Alb. Haller Pars I, Vol. IV.)

Darstellungen

- Bernoulli, Jakob*: Ars coniectandi. Basel 1713.
- Bernoulli, Jakob*: Wahrscheinlichkeitsrechnung. Übersetzt von R. Haussner. Leipzig 1899.
- Burckhardt, Albrecht*: Demographie und Epidemiologie der Stadt Basel während der letzten drei Jahrhunderte 1601–1900. Basel 1908.
- Bibliothèque britannique*. Genf 1807.
- Cantor, Moritz*: Historische Notizen über die Wahrscheinlichkeitsrechnung. Halle 1874.
- Cantor, Moritz*: Politische Arithmetik. Leipzig 1903.
- Cantor, Moritz*: Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Leipzig 1898.
- Conrad, Johannes*: Statistik. Jena 1923.
- Gavarret, Jules*: Allgemeine Grundsätze der medizinischen Statistik. Erlangen 1844.
- Graetzer, J.*: Edmund Halley und Caspar Neumann. Breslau 1883.
- John, Vinzenz*: Geschichte der Statistik. Stuttgart 1884.
- Kletz-Norberg*: Statistik. Wien 1946.
- Laplace, Pierre Simon de*: Essai philosophique sur les probabilités. Paris 1825.
- Laplace, Pierre Simon de*: Des Grafen Laplace philosophischer Versuch über Wahrscheinlichkeiten. Übersetzt von Friedrich Wilhelm Tönnies. Heidelberg 1819.
- Laplace, Pierre Simon de*: Théorie analytique des probabilités. Paris 1818.
- Rosen, Georg*: Problems in the application of statistical analysis to questions of Health 1700–1880. Bulletin of the history of medicine, Vol. XXIX, 1, 1955.
- Süssmilch, Johann Peter*: Die göttliche Ordnung in den Veränderungen des menschlichen Geschlechts. Berlin 1756.
- Todhunter, J.*: A history of the mathematical theory of probability. London 1865.
- Tronchin, Henry*: Un médecin du XVIIIe siècle, Théodore Tronchin (1709–1781). Paris/Genf 1906.
- Weber, Erna*: Grundriß der biologischen Statistik für Naturwissenschaftler und Mediziner. Jena 1948.

CURRICULUM VITAE

Am 12. April 1929 wurde ich als Sohn von Josef und Alice Huber-Krebs in Basel geboren. In meiner Vaterstadt besuchte ich die Primarschule und anschließend bis zur Maturitätsprüfung im Frühjahr 1948 das Humanistische Gymnasium. Im Sommersemester 1948 immatrikulierte ich mich an der Medizinischen Fakultät der Universität Basel. Meine ganze Studienzeit verlebte ich in Basel. Das erste propädeutische Examen bestand ich im Sommer 1949, das zweite im Sommer 1950. Meine klinischen Studien beendete ich im Herbst 1954 mit dem medizinischen Staatsexamen. Anschließend absolvierte ich die Aspirantenschule für Sanitätsoffiziere in Basel. Meinen Leutnantsgrad verdiente ich im Sommer 1955 als Schularzt ab. Im Herbst des gleichen Jahres trat ich meine erste Assistentenstelle an der Pathologisch-anatomischen Anstalt der Universität Basel an, wo ich jetzt noch tätig bin.

